République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université DE Dr YAHIA FARES MEDEA

Département du Génie Mécanique

Faculté des sciences de Technologie

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention d'un Diplôme de Master En Génie Mécanique

Option : *Ingénierie des matériaux et des surfaces*

Thème :

Evolutions des comportements mécaniques et microstructurales lors des traitements thermiques imposés sur des aciers faiblement alliés (42CD4)

Présenté par :

LOUDJEDI Fouad

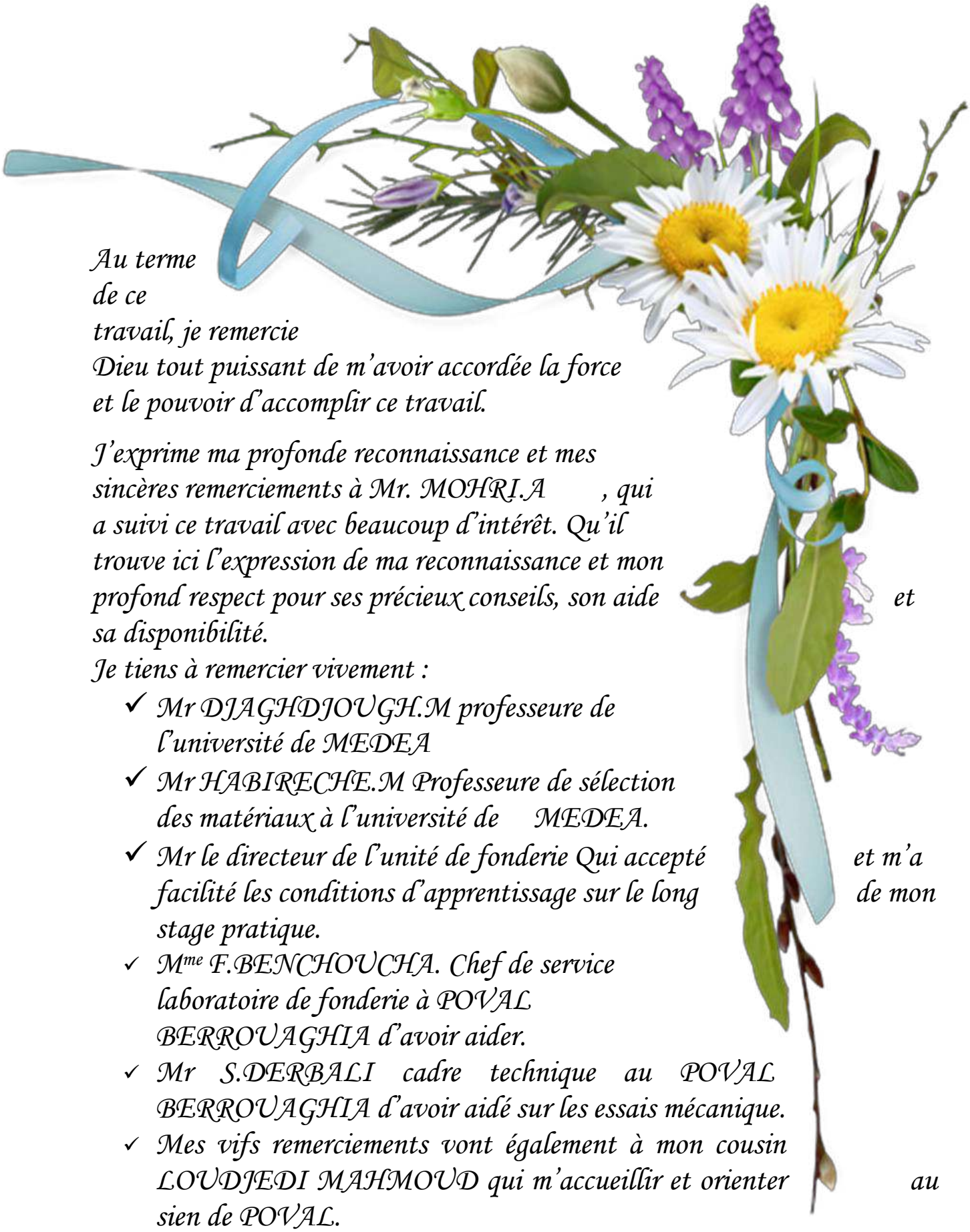
BELMEBARKI Abdelkader

Proposé par :

Encadreur : Dr. MOHRI.A

Promotion : 2020/2021

REMERCIMENT



Au terme de ce travail, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordée la force et le pouvoir d'accomplir ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à Mr. MOHRI.A , qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité.

Je tiens à remercier vivement :

- ✓ *Mr DJAGHDJOUGH.M professeure de l'université de MEDEA*
- ✓ *Mr HABIRECHE.M Professeure de sélection des matériaux à l'université de MEDEA.*
- ✓ *Mr le directeur de l'unité de fonderie Qui accepté et m'a facilité les conditions d'apprentissage sur le long de mon stage pratique.*
- ✓ *M^me^ F.BENCHOUCHA. Chef de service laboratoire de fonderie à POVAL BERROUAGHIA d'avoir aider.*
- ✓ *Mr S.DERBALI cadre technique au POVAL BERROUAGHIA d'avoir aidé sur les essais mécanique.*
- ✓ *Mes vifs remerciements vont également à mon cousin LOUDJEDI MAHMOUD qui m'accueillir et orienter au sien de POVAL.*

Tout le personnel de département du Génie Mécanique

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Celle qui a bercé mes rêves : ma mère,

Celui qui a nourri mes ambitions : mon père,

Mes chères sœurs : qui M'ont aidé et soutenu tout au long de mon parcours scolaire et universitaire,

Mes chers frères,

A mes chères amies.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : état d'Arte sur les aciers

I.1 Introduction sur les aciers

I.2 Différentes type d'aciers ……01

I.2.1 Aciers non alliés……01

I.2.2 Aciers spéciaux de T.T……01

I.2.3 Aciers faiblement alliés……01

I.2.4 Aciers fortement allié……01

I.2.5 Aciers inoxydables……01

I.3 Les différentes phases de l'acier……01

I.3.1 Ferrite ……01

I.3.2 Perlite……02

I.3.3 Austénite……02

I.3.4. Cémentite……02

I.3.5.Bainite……03

I.3.6. Martensite……03

I.4 Diagramme d'équilibre (Fer-Carbone) ……04

I.4.1 Analyse du diagramme Fer-carbone……04

I.4.2 Les points caractéristiques du diagramme d'équilibre Fe-Fe3c……04

a) Courbes

b) Transformations

I.5. Influences des éléments d'addition sur les propriétés des aciers……05

I.5.1 Influence d'additions de Silicium et Manganèse Mn Si……05

I.5.2 Influence d'additions Phosphore Ph……08

I.5.3 Influence d'additions Soufre S……08

I.5.4 Influence d'additions chrome Cr……08

I.5.5 Influence d'additions Molybdènes Mo ……11

I.6 traitement thermiques et transformation des phases……12

I.6.1 introduction……13

I.6.2 Différent traitement thermique……13

I.6.2.1 austinisation……13

I.6.2.2 trempe……14

a. trempe à l'eau

b. trempe à huile

c. trempe à l'aire

I.6.3 transformation dans les aciers……15

I.6.3.1 transformation de l'austénite……15

I.6.3.2 transformation de perlitique……16

I.6.3.3 transformation de martensitique……16

I.6.3.4 transformation de bainitique……17

CHAPITRE II : matériaux et étude expérimental

II.1 : Introduction : ……20

II.2 : Matériaux et caractéristique……20

II.2.1 : Composition chimique……20

II.2.2 : Pisingniation ……20

II.2.3 : Caractéristique mécanique ……20

II.3 : Etude expérimental ……21

II.3.1 : traitement thermique ……21

II.3.2 : l'essai de traction ……21

II.3.2.1 : Objectif ……21

II.3.2.2 : Principe ……22

II.3.2.3 : Eprouvette ……22

II.3.2.4 : Machine ……22

II.3.3 : Essai de dureté ……22

II.3.3.1 : Principe et Objectif ……24

II.3.3.2 : Eprouvette ……25

II.3.3.3 : Machine de duré utilisé……25

II.3.3.4 : Principe de l'essai (pic) ……26

II.3.4 : l'Etude métallographique……27

II.3.4.1 : Etude micrographique……27

A_ Découpage d'échantillon ……31

b- Polissage……31

c- Attaque chimique……31

II.3.4.2 : Etude micrographique (microscope optique) ……32
Chapitre III : Résultat expérimentale obtenue et discussion ……33
Introduction ……33
Résultats obtenus ……33
III .2.1 : Résultat obtenue avant traitement ……33
III .2.1.1 : Résultats obtenus par essai de traction ……33
III .2.1.2 : Résultats obtenus par dureté (HRC) ……33
III .2.1.3 : Résultats obtenus par microscope optique ……34
III .2.2 : Traitement thermique de trempe et revenu (température d'austénisation 900 ˚C) ……34
III .2.2.1 : résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'eau……35
III.2.2.2.1 Résultats Métallographiques de trempe dans l'eau ……35
III .2.2.2 : Résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'huile……35
III.2.2.2.1 Résultats Métallographiques de trempe dans l'huile ……36
III .2.3 : Résultats Obtenu après traitement thermique de trempe de température d'austénisation de 850 ˚C avec un temps de maintien de 30 min ……36
III .2.3.1 : résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'eau ……37
III .2.3.2 : résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans huile ……37
III .2.3 : Résultats Obtenu après traitement de trempe étagé (900 ˚C, 800 ˚C) revenu 60 min.. …..38
III.2.3.2 Résultats Métallographiques obtenues de trempe étagée dans l'eau ……38
III .2.3.3 : temps étagé dans l'huile ……38
III.2.3.2 Résultats Métallographiques obtenues de trempe étagée dans l'eau ……39
III.3 : discussion des résultats 40
III 3-1 Discussion des résultats obtenus après traitement de trempe et revenus……40
III.3.1.1 Résultats des propriétés mécaniques ……40

LISTE DE FIGURES :

Fig I.1 : diagramme d'équilibre fer-carbone ……..04

Figu I.2 : Observation au MEB de la martensite revenu à 650°C pendant 18 ks ……..07

Fig I.3: Domaines de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone……13

Fig :I-4 : Début de la transformation perlitique d'un acier eutectoïde, la croissance lamellaire à partir des germes et la formation simultanée de ferrite et de carbure ……16

Fig. I-5 : transformation perlitique après la décomposition complète……17

Fig. I-6: Structure cristalline de la martensite……18

Fig. I-7 : Structure bainitique (bainite inférieure)……19

Fig. II-1 le cycle de traitement……22

Fig. II-3. Schéma d'une éprouvette de traction cylindrique et de son évolution en Cours d'essai ……24

Fig. II-4 Machine de traction……24

Fig. II-5 Diagramme de l'essai de traction…… 26

Fig II-6: machine de l'essai de dureté Rockwell……27

Fig. II-7 MACHINE ESSAI Rockwell……29

Fig. II-8. Schéma de principe d'un essai de dureté Rockwell : Cas d'un Rockwell C……30

Fig. II-9 : appareil de polissage……31

Fig. II- 10: Microscope Optique (Zwick HV 10 et Zwick-M et ZHV2-M) ……32

Fig. III-1 : Résultats microscopique avant traitement 42CD4……34

Fig. III-2 Résultat microscopique après traitement de trempe dans l'eau après austénisation de 900 °C de 42CD4……35

Fig. III-3 Résultat microscopique après traitement de trempe dans l'Huile après austénisation de 900 °C de 42CD4……35

Fig. III.4. : Résultats microscopique après traitements de trempe dans l'eau T˚= 850˚C Temps de maintien de 30 min……36

Fig. III.5 Résultats microscopique après traitements de trempe dans l'huile T˚= 850˚C Temps de maintien de 30 min……37

Fig. III.6 : résultats microscopique après traitements de trempe étagée dans l'eau, de 900°C à 800˚C Temps de maintien de 30 min……38

Fig III.7 : Résultats microscopique après traitements de trempe étagée de 900°C à 800°C
Temps de maintien de 30 min ……..39

ملخص :

إن الهدف من هذه المذكرة يتمثل في دراسة تأثير المعالجة الحرارية على الخصائص الكيميائية الميكانيكية والبنيوية لسبيكة الفولاذ التي تستعمل عادة في الادوات الميكانيكية مثلا جميع أنواع المحامل.

لمتابعة التطورات الميكانيكية ل (42)CD4منخفضة البنية استعملنا عدة طرق تجريبية مثل الشد والصلابة والمجهر الضوئي وجدنا أن:

_الصلابة تزيد بعد المعالجة الحرارية

_المقاومة الميكانيكية تنقص بعد المعالجة الميكانيكية

الكلمات المفتاحية: المعالجة الحرارية، سبيكة الفولاذ، الشد الصلابة، المجهر الضوئي

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du traitement thermique sur les propriétés chimiques, mécaniques et structurelles de l'acier allié couramment utilisé dans les outils mécaniques, par exemple, tous les types de roulements.

Pour suivre les développements mécaniques du 42CD4 de faible structure, nous avons utilisé plusieurs méthodes expérimentales telles que la résistance à la traction, la rigidité et la microscopie optique.

_La dureté augmente après traitement thermique.

_ La résistance mécanique diminue après traitement mécanique.

Mots clés : traitement thermique, acier allié, dureté à la traction, microscopie optique.

Summary:

The objective of this work is to study the effect of heat treatment on the chemical, mechanical and structural properties of alloy steel that is commonly used in mechanical tools, for example, all types of bearings.

To follow up the mechanical developments of low structure 42CD4, we used several experimental methods such as tensile strength, stiffness and optical microscopy. We found that:

_Hardness increases after heat treatment

_ Mechanical resistance decreases after mechanical treatment

Key words: heat treatment, alloy steel, tensile hardness, optical microscopy

INTRODUCTION GENERALE

I.1 Introduction sur les aciers :

L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ2 % en masse). La teneur en carbone a une influence considérable (et assez complexe) sur les propriétés de l'acier : en deçà de 0,008 %, l'alliage est plutôt malléable et on parle de « fer ». Au-delà de 2 %, les inclusions de carbone sous forme graphite fragilisent la microstructure et on parle de fonte. Entre ces deux valeurs, l'augmentation de la teneur en carbone a tendance à améliorer la résistance mécanique et la dureté de l'alliage : on parle d'acier « doux, mi-doux, mi-dur, dur ou extra-dur » (classification traditionnelle). On modiffie également les propriétés des aciers en ajoutant d'autres éléments, principalement métalliques, et on parle d'aciers alliés. On peut encore améliorer grandement leurs caractéristiques par des traitements thermiques (notamment les trempes) prenant en surface ou à cœur de la matière ; on parle alors d'aciers traités. Autre ces diverses potentialités, et comparativement aux autres alliages métalliques, l'intérêt majeur des aciers réside d'une part dans le cumul de valeurs élevées dans les propriétés mécaniques fondamentales : résistance aux efforts (module d'élasticité, limite élastique, résistance mécanique), dureté, résistance aux chocs (résilience). D'autre part, leur coût d'élaboration reste relativement modéré, car le minerai de fer est abondant sur terre (environ 5 % de l'écorce). Enfin les aciers sont pratiquement entièrement recyclables grâce à la filière ferraille. On peut néanmoins leur reconnaître quelques inconvénients, notamment leur mauvaise résistance à la corrosion, à laquelle on peut remédier, soit par divers traitements de surface (peinture, brunissage, zingage, galvanisation à chaud, etc.), soit par l'addition d'éléments réalisant des nuances dites «inoxydables». Par ailleurs, les aciers sont difficilement modulables, donc peu recommandés pour les pièces volumineuses de formes complexes (bâtis de machines, par exemple). On leur préfère alors des fontes. En fin, lorsque leur masse volumique est compromettante (dans le secteur aéronautique par exemple), on se tourne vers des matériaux plus légers (alliages à base d'aluminium, composites, etc.), mais parfois beaucoup plus chers. De ce fait, les aciers restent privilégiés dans presque tous les domaines d'application : équipements publics (rails, signalisation), bâtiment (armatures, structures porteuses, ferronnerie, quincaillerie), moyens de transport (carrosseries, transmission), composants mécaniques (visserie, ressorts, câbles, roulements, engrenages),

outillage de frappe (marteaux, burins, matrices, etc.) et de coupe (fraises, forets, porte-plaquette), etc. La liste est loin d'être exhaustive. [1]

CHAPITRE I :

ETAT D’ARTE SUR LES ACIER

I.2 Différentes type d'aciers :

Il existe des aciers faiblement alliés, à faible teneur en carbone, et au contraire des aciers contenant beaucoup d'éléments d'alliage (par exemple, un acier inoxydable typique contient 10 % de nickel et 18 % de chrome en masse).

I.2.1 Aciers non alliés :

Ils ont une faible teneur en carbone et sont les plus utilisés, leurs qualités pouvant varier. Leurs applications vont de la construction soudée à l'ameublement en passant par l'électroménager.

I.2.2 Aciers spéciaux de T.T :

Leur composition est plus précise et plus pure et correspond à des usages définis à l'avance. Leurs applications courantes sont : forets, ressorts, arbres, matrices.

I.2.3 Aciers faiblement alliés :

Aucun élément d'addition ne dépasse 5% en masse ; ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance.

I.2.4 Aciers fortement allié :

Moins un élément d'addition dépasse les 5% en masse. Destinés à des usages bien spécifiques, on y trouve des aciers à outils, réfractaires, Maraging (très haute résistance, utilisés dans l'aéronautique), Hadfields (très grande résistance à l'usure), à roulements.

I.2.5 Aciers inoxydables :

L'acier inoxydable est une des trois grandes familles d'aciers qui présente une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud et au ßuage (déformation irréversible). C'est un acier fortement allié. Ses applications sont multiples: chimie, nucléaire, mais aussi couteaux et équipements ménagers. Ces aciers contiennent au moins 12% de chrome.

I.3 Les différentes phases de l'acier :

Ferrite, perlite, austénite, cémentite, bainite, martensite

I.3.1 Ferrite :

La ferrite (ferα) est une phase de l'acier, sous la forme d'une structure cubique centrée. Cette phase est observable lorsque la température est inférieure à 912 °C ou supérieure à 1394 °C si la teneur en carbone est très faible. Le passage de la structure cubique à faces centrées (austénite) du fer à la structure cubique centrée (ferrite), lorsque la température descend en dessous de 912°C, résulte de l'apparition progressive du ferromagnétisme dans la structure cubique centrée. En effet, pour des raisons liées à l'arrangement cristallin, l'alignement des spins responsable du ferromagnétisme tend à stabiliser la structure cubique centrée.

I.3.2 Perlite :

La perlite est un constituant biphasé de l'acier. C'est un agrégat formé de 89 % de ferrite et 11 % de cémentite. Sa structure est généralement formée de lamelles alternées de cémentite et de ferrite. La germination se fait aux joints de grain de la phase mère austénitique.

I.3.3 Austénite :

Du nom de William Chandler Roberts-Austen (1843-1902), l'austénite (ferγ)est une phase du fer, stable entre 910°C et 1394°C. Elle a une structure cristallographique cubique à faces centrées, notation Strukturberucht A1. Cette structure permet une grande solubilité du carbone (jusque 2,1% massique à 1 147°C). L'austénite est amagnétique.

Certains éléments d'alliage (manganèse, nickel, azote par exemple) augmentent la plage de stabilité de l'austénite ; ils sont dits «gammagènes». Avec un dosage sufÞsant, ils permettent, grâce à une trempe, d'obtenir de l'austénite à température ambiante à l'état métastable. C'est le cas des aciers dits austénitiques. La grande majorité des aciers inoxydables est austénitique, car ils combinent de bonnes résistances à la corrosion avec des propriétés mécaniques plus élevées que l'acier ferritique.

D'autres éléments (silicium, molybdène ou chrome par exemple) tendent à déstabiliser l'austénite. On appelle ces éléments « alphagènes ».

I.3.4. Cémentite :

La cémentite (ou carbure de fer) est un composé chimique dont la formule est Fe3C dont la structure est orthorhombique. Elle contient 6,67%de C. C'est un composé très dur

(dureté Vickers HV=700 à 800) mais très fragile A=0%, Rm=700N/mm². Elle forme avec la ferrite un constituant appelé perlite.

I.3.5.Bainite :

La bainite est le nom d'une microstructure de l'acier découverte en 1930 par E. S. Davenport et Edgar Bain lors de leurs études de la décomposition isotherme de l'austénite. Cette phase se présente sous la forme d'un agrégat de plaquettes (ou lattes) de ferrite et de particules de cémentite. Elle se forme lorsque le refroidissement de l'acier est trop rapide pour obtenir la formation de perlite mais trop lent pour obtenir la formation de martensite. C'est un constituant qui présente les mêmes phases que la perlite (ferrite et cémentite) mais possède une structure particulièrement Þne, souvent en aiguilles, ce qui lui confère de bonnes propriétés mécaniques. Elle est dure et assez facile à usiner.
La bainite peut se présenter sous deux formes suivant la température à laquelle elle est formée.

I.3.6. Martensite :

En ce qui concerne les aciers, la martensite (fer α') est une phase métastable issue de la transformation sans diffusion de l'austénite en dessous d'une température martensitique. C'est une solution solide d'insertion sursaturée en carbone dans le feraα, de même composition que l'austénite initiale. La transformation austénite - martensite consiste en un changement du réseau cristallin (avec un faible déplacement des atomes de fer), mais elle n'affecte pas le carbone: on appel ce type de transformation «displacive». La martensite cristallise dans le système quadratique (prisme droit à base carrée qui est ici très voisin d'un cube). La martensite est ferromagnétique. [2]

Elle possède une grande dureté (HV > 800) et une fragilité notable. Elle a une structure en aiguilles (plaques) ou en lattes, visibles avec un grossissement suffisant, après attaque par les réactifs classiques. Ces aiguilles correspondent à des plaquettes internes dont le plan habituel est voisin de (225), orientées à l'intérieur de chaque grain initial d'austénite suivant trois directions parallèles aux côtés d'un triangle équilatéral. Le durcissement de la martensite est d'ordre physico-chimique ; chaque atome de carbone, plus volumineux que l'interstice où il est inséré, écarte les deux atomes de fer voisins, le réseau du fer est ainsi

fortement distordu, et ces perturbations en bloquant le mouvement des dislocations durcissent l'acier.

I.4 Diagramme d'équilibre (Fer-Carbone) :

I.4.1 Analyse du diagramme Fer-carbone :

Le diagramme d'équilibre Fer-carbone est très utile pour comprendre les aciers, les fontes et les traitements thermiques. Il est limité à droite par la cémentite Fe3C (6.67%C) est fait apparaître les deux grandes familles de métaux ferreux : les aciers (entre 0.008%C et 2%C) et les fontes (de 2%C à 6.67%C).

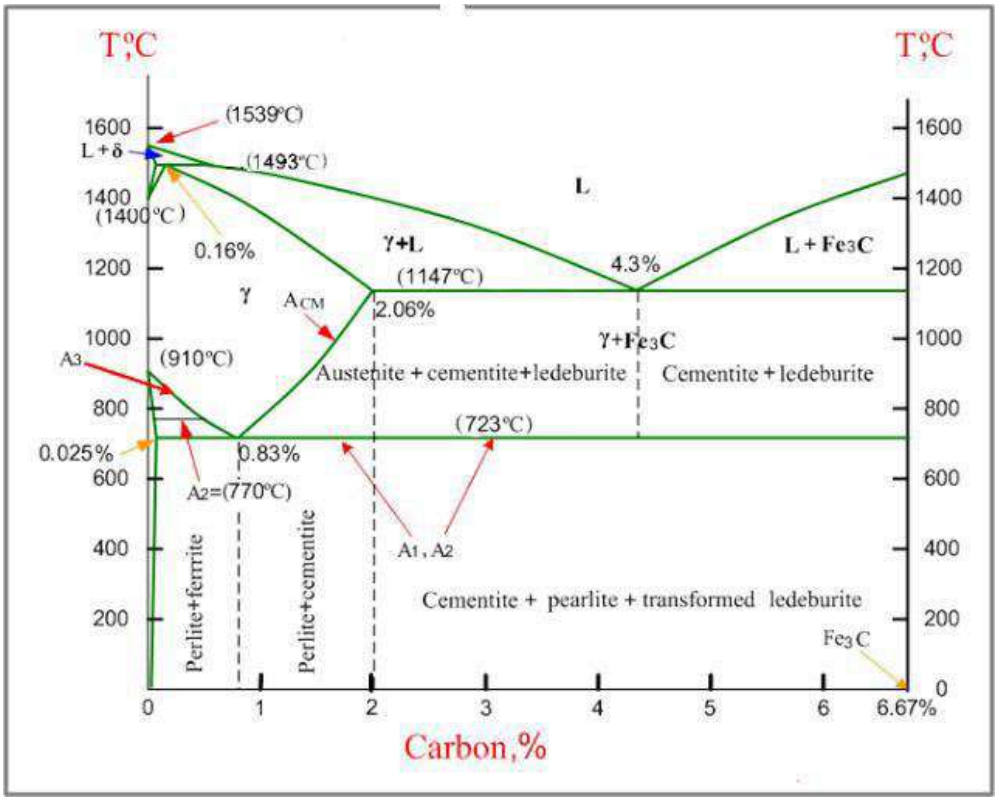


Fig. I -1 : diagramme d'équilibre fer-carbone [3]

I.4.2 .Les points caractéristiques du diagramme d'équilibre Fe-Fe3C :

- A : correspond à la température de fusion du fer pur (1539°C).
- D : correspond à la température de fusion de la cémentite (1392°C).
- B : 0,51 % C dans la phase liquide en équilibre avec la ferrite δ et l'austénite à la température péritectique 1493°C.

- H : 0,10 % C teneur limite du carbone dans la ferrite δ à 1493°C.
- I : 0,16 % C dans l'austénite à la température péritectique 1499°C.
- N (1392°C) et G (910°C) marquent la transformation polymorphe réciproque ferriteausténite (δγ).
- E : 2,1 % C teneur limite du carbone dans l'austénite à la température eutectique (ECF 1147°C).
- S : 0,8 % C dans l'austénite à la température eutectoide 727°C.
- P : 0,02 % C teneur limite dans la ferrite à la température eutéctoïde 727°C.
- C : 4,3 % C transformation eutectique à la température 1147°C.

a) Courbes :

Acm : indique la fin de la dissolution après dissociation, de la cémentite dans l'austénite lorsque celle-ci existe.

*** A0 :** (210°C) précise la température de la transformation magnétique de la cémentite.

***** A1 : précise la fin de la transformation au refroidissement de l'austénite. L'austénite n'existe plus au-dessous de cette ligne.

*** A2** : (point de Curie ≈ 768°C) précise la température de la perte de magnétisme du Fer α. en générale ce point ne figure pas sur le diagramme Fer-C.

*** A3 :** précise la fin de la transformation au chauffage de la ferrite en austénite .La ferrite n'existe plus au-dessus de cette ligne.

*** A4 :** précise la fin de la transformation au chauffage de l'austénite en ferrite δ et/ou liquide. L'austénite n'existe plus au-dessus de cette ligne. On peut trouver Ac3, Ac4… pour indiquer que le point est tracé en chauffage, ou Ar3, Ar4 lorsqu'il s'agit de refroidissement.

b) Transformations :

Le diagramme Fer-carbone contient trois réactions isothermes caractérisées par des paliers :

*** Eutectique à 1147°C :** il marque la température minimale d'existence du liquide.

*** Eutectoïde à 723°C (A1)**. Il marque la fin de la transformation au chauffage de la perlite en austénite. Au-dessus de 723°C, la perlite n'existe plus

***Péritectique à 1487°C**, mais d'importance négligeable de point de vue industrielle.

Réaction eutectoïde

Un premier point remarquable doit être noté, correspondant à la teneur de 0.8%C à 723°C, ce point est dit eutectoïde ; les aciers qui contiennent moins de 0.8%C sont dits **hypo**eutectoïdes et ceux qui sont plus carburés **hyper**eutectoïdes.[4]

Réaction eutectique

Un deuxième point remarquable doit être noté correspondant à la teneur de 4.3% de carbone à 1147°C, ce point est dit eutectique. A la température eutectique il existe trois phases en équilibre.

Le liquide se solidifie, pour former les phases d'austénite et de cémentite on l'appelle lédéburite.

Réaction péritectique

Un troisième point remarquable correspondant à la teneur de 0.51% de carbone à 1487°C, ce point est dit péritectique.

I.5. Influences des éléments d'addition sur les propriétés des aciers :

Les éléments d'addition ajoutés à l'acier ou alliage métallique à base de fer (Fe + C), jouent un rôle particulier sur les caractéristiques générales, ou un rôle commun lorsque plusieurs éléments d'addition sont présents dans la composition chimique finale. Les éléments d'alliagesse repartissent le ferγ .

Dans la suite de ce chapitre, nous nous limiterons à présenter en détail les effets de quatre éléments présélectionnés pour notre étude : le Silicium, le Manganèse, le Phosphore et le Soufre. [5]

I.5.1 Influence d'additions de Silicium et Manganèse Mn Si :

N'étant pas un élément carburigène, le silicium ne participe pas à la formation de carbures lors du revenu. Toutefois, cet élément retarde la baisse de la dureté et des études ont montré que le silicium retarde l'apparition de la cémentite lors du revenu.

Le Tableau 1.1 présente ces résultats. Ainsi, on constate que dans le cas d'un alliage contenant du silicium, la cémentite n'est pas encore observée même après un long revenu de 1200 s à 250°C, contrairement aux deux autres nuances étudiées.

Le silicium présente toutefois un autre effet sur le revenu : comme observé sur la Figure 1.6, il retarde considérablement le mécanisme de coalescence des particules de Fe3C dans la gamme de températures allant de 400°C à 600°C.

Les précipités conservent alors une taille plus fine pour des températures de revenu plus élevée, retardant alors la chute de dureté. Notons toutefois que le manganèse présent les mêmes caractéristiques. Cet effet pourrait s'expliquer par la très faible solubilité du silicium dans la cémentite. Le silicium est alors rejeté au fur et à mesure que la croissance des particules progresse, ce qui augmente la teneur en silicium au voisinage des carbures formés, créant ainsi une barrière de diffusion pour le carbone [10]

Tableau I.1 : Carbures présents dans la microstructure après différents temps de revenu à 250°C ou 450 °C

	250°C		450°C			
	30 s	1200 s	30 s	120 s	300 s	1200 s
Fe-0.6C	ε	Fe3C	Fe3C	-	-	Fe3C
Fe-0.6C-2Mn	ε	Fe3C	Fe3C	-	-	Fe3C
Fe-0.6C-2Si	ε	ε	ε	ε et Fe3C	Fe3C	Fe3C

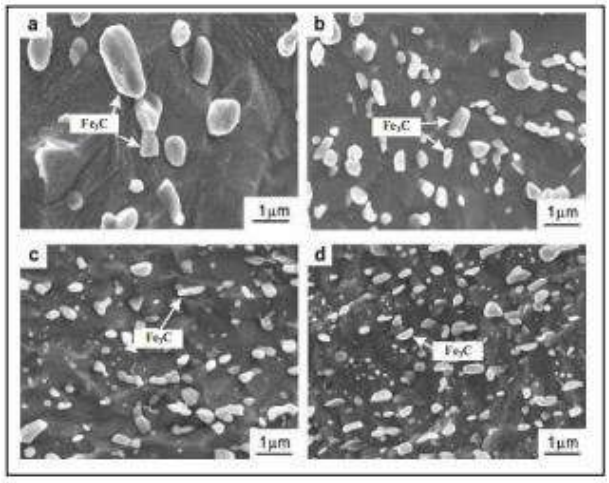


Fig. I-2 : Observation au MEB de la martensite revenu à 650°C pendant 18 ks

a) alliage Fe-0,6C ; b) alliage Fe-0,6C-2Si ; c) Fe-0,6C-1Mn ; d) Fe-0,6C-2Mn

I.5.2 Influence d'additions Phosphore Ph :

Il existe en solution dans la ferrite et provoque un grossissement du grain, ce qui augmente la fragilité de l'acier à froid. En se ségrégant facilement, contribue à l'hétérogénéité de l'acier. Sa teneur doit être limitée de 0,025 à 0,040%.

Le phosphore augmente la limite élastique et la charge de la rupture tout en diminuant considérablement la plasticité et la ductilité.

I.5.3 Influence d'additions Soufre S :

C'est un élément nuisible pour l'acier, il diminue surtout sa forgeabilité. Il peut exister sous forme de MnS et de FeS. A froid le soufre amène également une diminution importante de la résistance la teneur limite en soufre doit être inférieure à 0.035 – 0.06%.

Parfois on utilise des aciers de décolletage riches en soufre (0,015 - 0,025) % afin de faciliter la fragmentation des copeaux. Un minimum de soufre (0,02%) est toujours nécessaire pour des raisons d'usinabilité [6].

I.5.4 Influence d'additions chrome Cr :

Des additions de chrome améliorent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion, et cet élément est très employé, en teneur variant de 0.25 à 30%, suivant l'application précise que l'on veut faire. Il se combine de préférence avec le carbone, et le carbure qui en résulte, (généralement le carbure orthorhombique Cr3C2 lorsque la teneur est modérée, ou le carbure cubique Cr4C quand la teneur est forte) se dissout dans le Fe3C restant pour former un carbure double, dur et stable. Par suite, le chrome diminue la décarburation et corrige la tendance graphitisante dans les aciers à forte teneur en carbone. La proportion du carbure libre dans l'acier est accrue, car les carbures doubles ne se dissolvent pas facilement dans l'austénite, bien que la solubilité s'accroisse tout de même avec la température. Les quantités en excès par rapport à celle nécessaire à la formation des carbures se dissolvent librement et facilement dans le fer liquide, et restent en solution dans le fer, dans une plus grande mesure encore dans le fer. Le chrome en solution tend à retarder la transformation de l'austénite, ce qui produit de la trempe à l'air, tendance qui est favorisée par des températures initiales élevées ou par des vitesses de refroidissement dépassant la vitesse d'équilibre, ces deux conditions abaissant les points A3 et A1. Au cours du chauffage, ou avec des vitesses de refroidissement plus faibles, ces points sont élevés, et

l'on peut ainsi réaliser le revenu à une température plus élevée. (Avec une teneur en chrome de 12%, le point Ac1 s'élève à 800°C). Le point A2 reste inchangé, mais le point A4 s'abaisse, et avec une teneur croissante, la région A4/A3 (Austénite) se rétrécit progressivement, jusqu'à ce que, pour 11.6% de chrome non combiné, cette région disparaisse et avec la solution solide restant ainsi stable depuis la température ambiante jusqu'au point de fusion, l'allotropie du système disparaît. Ainsi, jusqu'à un certain point, la transformation de la perlite est favorisée en proportion de la teneur en chrome, mais avec de nouvelle addition ou un refroidissement rapide, la transformation est abaissée, interrompue et supprimée avec formation de martensite. Une teneur aussi faible que 0.5% suffit pour donner une structure aciculaire dans de l'acier au carbone à 0.35% refroidi à l'air, les premières traces de martensite apparaissant pour 2% environ de chrome. Cet élément affine l'eutectoïde, et fait également fortement décroître sa teneur en carbone, jusqu'à ce que, vers 13% de chrome, elle ne soit plus que de 0.3% au lieu de 0.84%. Les aciers au chrome se caractérisent par leur sensibilité au traitement thermique. Dans les aciers de construction perlitique au chrome, largement employés dans un grand nombre d'industries, la teneur varie généralement de 0.5 à 1.5%, la teneur habituelle étant de 1% environ. Des quantités de cet ordre accroissent la résistance à la rupture, sans diminuer la ductilité de façon appréciable. Elles diminuent l'allure de revenu, et améliorent l'aptitude à la trempe. Cette gamme d'aciers est employée chaque fois qu'il est nécessaire d'avoir une dureté extrême, par exemple pour les matrices, les crémaillères, les limes et les outils. On emploie énormément de l'acier contenant de 1.2 à 1.5% de chrome avec 0.9 à 1.1 % de carbone, pour les roulements à billes et les cages de roulement à billes, le métal étant très usinable dans l'état "sphéroïdisé", et cependant extrêmement résistant l'abrasion après trempe. Tant qu'il s'agît de véritable résistance à l'abrasion, cet acier est supérieur à l'acier au manganèse, mais il ne convient pas au moulage. On emploie des aciers contenant 2% de chrome avec 0.8 à 1.8% de carbone pour les coffres-forts. Pour le matériel de raffinage du pétrole, fonctionnant à 540°C pour les tubes, vannes, raccords, etc... Sans soudure, on emploi de l'acier à 4.6% de chrome, ce qui donne une dureté de service très grande. Dans les compositions ci-dessus, le chrome est utilisé seul, mais, le plus souvent, on emploie en même temps que d'autres éléments d'addition, spécialement le nickel, le molybdène, le vanadium et le titane, qui améliorent en plus la ductilité et la ténacité, réduisant en outre la fragilité due au grossissement du grain. Des additions simultanées de chrome (0.5 à 1.5%) et de nickel (1.5 à 4.5%) donnent une

association excellent de résistance à l'usure et d'aptitude, à la trempe, avec une résistance (à la rupture) élevée, de la ductilité, de la ténacité, le métal obtenu convenant bien aux fortes épaisseurs, et n'étant que relativement peu sujet au grossissement du grain. Ces aciers sont perlitiques et servent à fabriquer d'innombrables pièces pour automobiles et avions, ainsi que des plaques de blindages. On emploi les aciers au nickel-chrome à faible teneur en carbone comme aciers de trempe par cémentation, le chrome augmentant la vitesse de carburation, ainsi que la dureté, la résistance à l'usure et la résistance de la couche cémentée. Le chrome contribue beaucoup à la formation de nitrure, et les aciers destinés à la nitruration peuvent en contenir de 0.9 à 1.8% avec ou sans aluminium. Les aciers au siliciumchrome pour les soupapes d'échappement contiennent de 8 à 10% de chrome, avec une teneur en silicium allant jusqu'à 3.5%. L'acier de construction contenant 0.5% de chrome, 1.2% de manganèse et 0.8% de silicium présente une résistance et une ductilité élevées. Une autre composition à haute résistance comporte 0.9% de chrome, 0.8% de manganèse, et 0.3% de cuivre. Le chrome est l'élément indispensable des aciers inoxydables, la résistance à la corrosion augmentant avec la proportion qui est présente, laquelle varie entre 5 et 30%. Afin de rendre la ferrite suffisamment riche en chrome pour que le film superficiel d'oxyde double, inerte et adhérent, soit imperméable aux agents oxydants, il faut que la teneur en chrome dépasse 11%. La résistance à la corrosion est diminuée par les carbures de chrome. Si on augmente le carbone, il faudra aussi augmenter le chrome et l'acier devra contenir au moins 12 à 14% de chrome pour que l'on ait une résistance à la corrosion qui soit complète. Les aciers inoxydables pour la coutellerie contiennent habituellement ces quantités-là de chrome, avec 0.30 à 0.40% de carbone. On emploie des teneurs en chrome jusqu'à 30%. La douceur de ces aciers ferritiques permet de les soumettre à des travaux de déformation à froid très importants. Avec de telles teneurs en chrome (12 à 30%) les aciers résistants à la corrosion deviennent résistants à la corrosion aux températures élevées. Les aciers inoxydables peuvent contenir du nickel, du silicium, du molybdène, du titane, du tungstène et du nobium.

Le type le plus commun des aciers inoxydables est austénitique et contient 18 à 19% de chrome et 8 à 9% de nickel (ce qui est le minimum pour stabiliser l'austénite aux températures ordinaires) avec de petites quantités d'éléments alliés. Cet acier réunit une

haute résistance à la corrosion, l'aptitude à être soudé, à être embouti à chaud et à subir de fortes transformations de section ou de forme par travail à froid.

Il est très employé dans diverses industries chimiques et pour des applications d'architecture et de domotiques. [7]

I.5.5 Influence d'additions Molybdènes Mo :

Les améliore les propriétés de résistance aux chocs des aciers trempés. Les recherches étendues et les résultats constatés font que le molybdène est maintenant le plus largement employé dans les aciers à haute résistance, en vue de leur aciers au molybdène ont pris une importance croissante pour la fabrication d'organes de machines. Le molybdène maintenir une bonne résistance aux chocs et une bonne résistance aux températures élevées. Le succès des additions de molybdène est dû à plusieurs causes. L'une d'entre elles est d'éliminer pratiquement toutes tendances à la fragilité de revenu, après trempe, dans les aciers au chrome-nickel et dans d'autres aciers spéciaux. Le molybdène est donc un élément d'addition qu'on emploie habituellement en même temps que d'autres. Sauf dans les aciers pour outils, où la teneur en molybdène peut atteindre 10%, en remplaçant du tungstène, les additions de molybdène ont rarement besoin de dépasser 1% pour produire leur maximum d'effet utile et souvent, elles sont beaucoup plus faibles. Ainsi, de nombreuses variétés d'aciers spéciaux contiennent seulement de 0.15 à 0.40% de molybdène. Cet élément se dissout facilement dans l'acier fondu et, dans de certaines limites, il est retenu, sous forme de solution solide, dans le fer þ et la ferrite. Sa solubilité à 1440° C est de 24%. A la température ordinaire, elle est de 4%. A 400°C, elle est de 6%. Le molybdène est susceptible de former le composé Fe3Mo2. L'acier chauffée pour être amené à l'état de solution solide est soumis à une trempe, présente un précipité de Fe3Mo2 très finement dispersé. [3] Cependant le molybdène est un puissant formateur de carbure et il existe en forte proportion dans l'acier, sous forme de carbures complexes de molybdène et de fer, plus stable de beaucoup que le simple carbure du fer. Ces carbures lentement solubles, donnent à la présence au molybdène beaucoup de son effet trempant, qui vient tout de suite après celui du carbone. L'amélioration des propriétés, due au molybdène, provient aussi de ce qu'il abaisse la température des points critiques. Il peut supprimer la séparation de la ferrite, même pour des vitesses modérées de refroidissement. Des teneurs jusqu'à 0.50% sont plus efficaces que des additions correspondantes de chrome, pour produire une structure

aciculaire dans des aciers refroidis à l'air, alors que des teneurs plus élevées sont moins efficaces que celles du chrome sur la formation de la martensite. Les premières traces de celle-ci apparaissent dans les aciers refroidis à l'air pour 2% de molybdène. Une autre source d'amélioration, surtout en ce qui concerne une résistance élevée aux chocs et à la fatigue, consiste en la formation d'une structure à grains fins, laquelle persiste même quand on chauffe à des températures bien supérieures à celle du point critique. [7] Une caractéristique des additions de molybdène (0.5 à 1%) est de permettre un traitement thermique efficace des aciers au nickel-chrome, des aciers à hautes teneur en manganèse..., en supprimant largement leur susceptibilité à la fragilité de revenu. Celle-ci consiste en une précipitation durcissant entraînant une diminution considérable de la résistance aux chocs. Cela ne résulte pas d'un adoucissement de l'acier. Mais en fait le molybdène est favorable à un durcissement par revenu. Il se crée alors des petites particules de Fe3Mo2. Par suite de la solubilité lente des carbures, il faut des températures de revenu élevées pour produire l'adoucissement. On utilise notamment cette précipitation dans des aciers au molybdène pour matrices à durcissement par vieillissement. Alors que la propriété de durcir la ferrite est seulement modérée, l'effet global utile au molybdène sur l'aptitude à prendre la trempe, sur la ténacité et la résistance à haute température, n'est pas accompagné d'une perte de ductilité. La possibilité de durcir l'acier par la trempe sans fragilité est une des caractéristiques des additions de molybdène. Le molybdène, pour une dureté donnée des aciers, améliore leur usinabilité. Cet élément permet d'alléger les pièces qui doivent résister à une fatigue donnée. Il s'oppose à la corrosion et à l'oxydation. L'acier au molybdène convient très bien pour faire des moulages. Il a une bonne coulabilité, peut prendre la trempe sur une bonne épaisseur et possède une limite élastique élevée. Le molybdène agit d'une façon semblable à celle du chrome, pour augmenter la résistance, l'aptitude à la trempe et la résistance à l'usure, tout en gardant une bonne ténacité. Il a donc divers effets favorables, analogues à ceux du nickel. Les aciers au nickel-molybdène ont une limite élastique élevée, mais ils ont une faible résistance aux chocs, et une médiocre usinabilité. Ils sont employés comme aciers de cémentation.

I.6 traitement thermiques et transformation des phases :

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations Combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but : D'améliorer les

caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné, à partir des modifications suivantes :

- Augmentation de la résistance à la rupture et de la limitée élastique, Re, A % en donnant une meilleure tenue de l'élément.

- Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs. De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage.

De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux avant subit une déformation plastique à froid (emboutissage, fluotournage). En dehors du recuit de recristallisation qui permet de supprimer l'écrouissage, les traitements thermiques ne s'appliquent pas aux métaux purs, mais seulement à quelques alliages pour lesquels on recherche principalement une augmentation de la limite élastique et une diminution de la fragilité. En général les traitements thermiques ne Changent pas la composition chimique de l'alliage.

I.6.2 Différent traitement thermique :

I.6.2.1 Austénitisation :

L'austénitisation consiste d'abord à chauffer l'acier puis de le maintenir pendant environ 30minutes dans son domaine austénitique, à au moins quelques degrés (30-50°C) au-dessus de son point de transformation. Durant l'austénitisation, la structure de l'acier S'homogénéise en transformant les éléments microstructuraux ferritique (α, cc) en austénite (γ, cfc) et en dissolvant la cémentite et les carbures dans l'austénite.

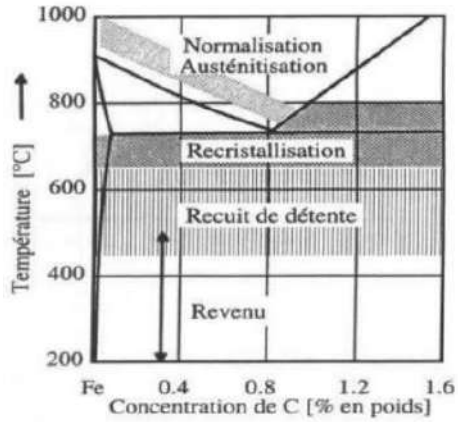


Fig. I-3 : Domaines de températures d'austénitisation et d'autres traitements thermiques des aciers au carbone

I.6.2.2 trempe :

La trempe consiste en un refroidissement rapide d'un acier austénites et a pour but de donner à l'acier la plus grande dureté possible par formation de la martensite ou de la perlite fine. La température d'austénitisation, aussi appelée "température de trempe", dépend de la teneur en carbone de l'acier ; elle doit être située dans le domaine austénitique du diagramme Fe-C. La trempe s'effectue en général soit :

a. trempe à l'eau :

L'eau constitue le milieu de refroidissement le moins cher qui permette, dans la pratique de tous les jours, de réaliser les refroidissements les plus énergiques. Toutefois, il faut noter qu'au cours d'une trempe à l'eau, la vitesse de refroidissement n'est pas constante. L'eau a l'avantage de faire éclater la calamine au début du refroidissement et donc de nettoyer la surface et d'améliorer l'échange thermique.

Lorsque la géométrie de la pièce le permet, l'eau peut former facilement des bulles de vapeur prisonnières qui ralentissent localement le refroidissement du métal et donnent naissance à des points doux ; la circulation de l'eau, l'agitation de la pièce ainsi que sa présentation doivent donc être adaptées. Si la température de l'eau s'élève, son pouvoir refroidissant diminue très sensiblement (la période de caléfaction est prolongée). Ainsi donc, l'exécution d'une bonne trempe à l'eau exige le contrôle permanent : - de la température de l'eau - de l'agitation des pièces - de la circulation de l'eau et de son renouvellement éventuel. Par ailleurs, il est nécessaire d'éviter toute contamination de l'eau par des produits étrangers (sels notamment), qui changerait sa sévérité de trempe et empêcherait d'obtenir des résultats constants.

b. trempe à huile :

Lorsque la géométrie de la pièce le permet, l'eau peut former facilement des bulles de vapeur prisonnières qui ralentissent localement le refroidissement du métal et donnent naissance à des points doux ; la circulation de l'eau, l'agitation de la pièce ainsi que sa présentation doivent donc être adaptées. Si la température de l'eau s'élève, son pouvoir refroidissant diminue très sensiblement (la période de caléfaction est prolongée). Ainsi donc, l'exécution d'une bonne trempe à l'eau exige le contrôle permanent : - de la température de l'eau - de l'agitation des pièces - de la circulation de l'eau et de son renouvellement

éventuel. Par ailleurs, il est nécessaire d'éviter toute contamination de l'eau par des produits étrangers (sels notamment), qui changerait sa sévérité de trempe et empêcherait d'obtenir des résultats constants.

c. trempe à l'aire :

Il existe une très grande variété d'huiles de trempe qui peuvent différer : - par l'huile de base (minérale ou synthétique) - par les additifs qu'elles contiennent, additifs qui ont pour objet soit de modifier le pouvoir refroidissant, soit d'améliorer certaines propriétés (notamment la résistance à l'oxydation). Lors d'une trempe à l'huile, la vitesse de refroidissement n'est pas constante ; elle est maximale lorsque la température de surface de la pièce est encore assez élevée et généralement comprise, suivant les propriétés de l'huile considérée, entre 400 et 600 °C, soit à un niveau bien supérieur à celui correspondant à la trempe à l'eau. La viscosité de l'huile diminue quand sa température augmente.

I.6.3 transformation dans les aciers :

I.6.3.1 transformation de l'austénite :

Le traitement thermique de l'acier commence lorsqu'il est porté à haute température dans un état complètement ou très largement austénitique. L'austénite possède alors deux caractéristiques intéressantes :

1) Composition et l'homogénéité de la composition ;

2) La grosseur du grain. Au refroidissement, l'austénite se transforme en ferrite et carbure. En ajustant les conditions de refroidissement, en particulier la vitesse, il est possible de contrôler la structure microscopique, autrement dit le mode de répartition du carbure dur dans la matrice ferritique douce. L'une des vitesses de refroidissement de l'acier à partir du domaine austénitique est la vitesse de refroidissement des produits laminés ou forgés après la dernière passe à chaud. Ce refroidissement n'est pas techniquement, un traitement thermique. Il s'agit pourtant, d'un point de vue métallurgique, d'un véritable traitement, reproductible pour une section donnée. La décomposition de l'austénite ne commence pas instantanément lorsque la température atteint celle qui, au bout d'un temps de maintien suffisant, entraîne sa décomposition isotherme [11]

I.6.3.2 transformation de perlitique :

Au cours d'un refroidissement lent, à la vitesse de 2 à 3 °C / mn, l'austénite se transforme en ferrite et en carbure lamellaire [16]. A haute température, l'austénite homogène présente une distribution embryonnaire caractéristique. Le franchissement de la température de transformation entraîne une évolution de cette distribution pendant laquelle on n'observe aucune transformation [17], le temps nécessaire pour atteindre ce nouvel état est appelé temps d'incubation. A température θiso, légèrement au-dessous de A1 (pour un acier proche de la composition eutectoïde), l'énergie motrice de la transformation est négligeable est-il s'ensuit une faible vitesse de réaction que l'on observe après temps d'incubation important. A température θiso, c'est-à-dire vers 500°C, l'énergie motrice de la transformation devient très importante, mais l'abaissement de la température ralentit considérablement, la vitesse de diffusion du carbone qui apparaît Comme le facteur contrôlant la transformation et expliquant l'importance du temps d'incubation. Vers 600 °C, l'énergie motrice et la vitesse de diffusion ont des valeurs telles que la formation de la perlite se manifeste après un très court temps d'incubation. Pour un acier hypoeutectoïdes, la transformation commence par l'apparition de la ferrite aux joints des grains austénitique ; simultanément, l'austénite restante s'enrichit en carbone jusqu'à atteindre la composition eutectoïde. La perlite apparaît sous forme de colonies ou l'agrégat ferrite –cémentite progresse, sans relation d'orientation cristallographique avec le grain d'austénite mère [12].

I.6.3.3 Transformation de martensitique :

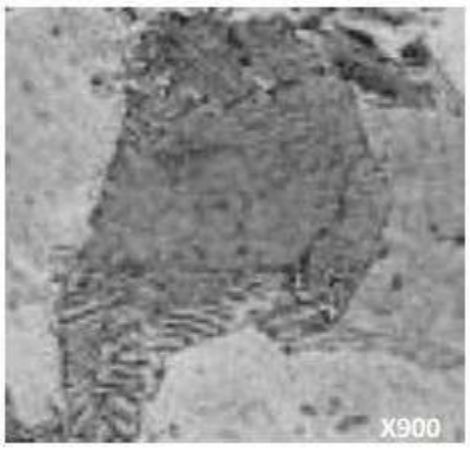


Fig :I-4 : Début de la transformation perlitique d'un acier eutectoïde, la croissance lamellaire à partir des germes et la formation simultanée de ferrite et de carbure [13].

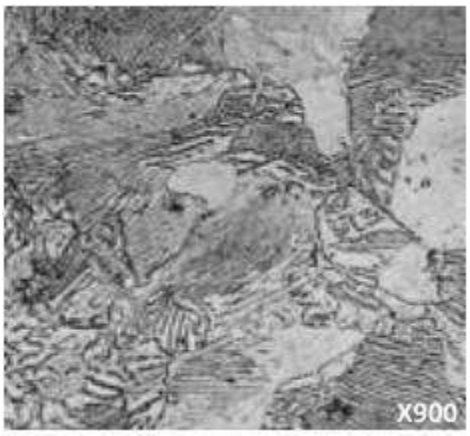


Fig. I-5 : transformation perlitique après la décomposition complète [13].

I.6.3.3 transformation de martensitique :

Est une transformation sans diffusion. (Par glissement) Du point de vue de la cinétique, la martensite apparaît dès que l'on atteint, par un refroidissement rapides, une certaine température dite de début de la transformation martensitique (Ms), mais elle ne se poursuit pas en condition isotherme. Du point de vue structural, la transformation martensitique correspond à un basculement coopératif des atomes qui participent à la formation d'une plaquette de martensite. La martensite a une structure proche celle de la ferrite. La présence en sursaturation du carbone retenu dans la martensite, confère à la maille une légère déformation et le réseau devient quadratique centré, les atomes de carbone se trouvant dans les sites octaédriques. Les paramètres a et c de la maille quadratique de martensite dépendent de la teneur en carbone de l'acier D'une manière générale, la martensite présente plusieurs morphologies selon cette teneur en carbone [14]. A faible teneur (c < 0.6 %), on observe une martensite aciculaire fortement maclée. Le changement de forme, engendré par le cisaillement du volume initial d'austénite se traduit par un gonflement volumique qui donne naissance à des contraintes internes considérables. Ces contraintes, d'autant plus importantes que le carbone est abondant, confèrent à l'acier une forte dureté, mais aussi une grande fragilité que l'on peut atténuer par un traitement thermique ultérieur appelé « Revenu ».

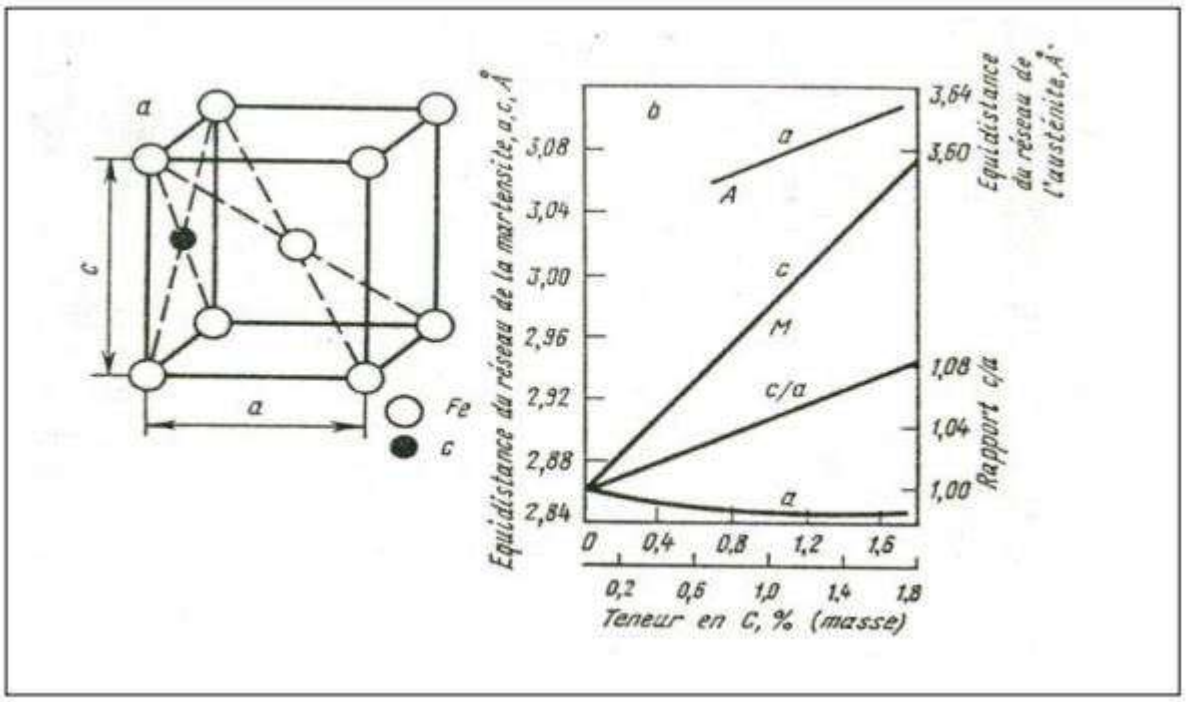


Fig. I-6: Structure cristalline de la martensite

a) réseau cristallin, b) équidistance de la martensite et de l'austénite en (fonction de la teneur en carbone) [15]

I.6.3.4 transformation de bainitique :

La transformation perlitique est contrôlée par un mécanisme de diffusion, alors que la transformation martensitique procède par cisaillement et en absence de diffusion. La transformation bainitique est intermédiaire entre les deux précédentes, puisque le mécanisme mis en jeu est mixte : on observe simultanément un phénomène de cisaillement de l'austénite en ferrite, et une diffusion à courte distance du carbone.

La bainite qui apparaît à haute température, dite bainite supérieure, présente la forme de lattes, les aiguilles de ferrite bainitique étant séparées par de petites plaquâtes de cémentite. Aux températures plus basses, le carbone dont la vitesse de diffusion est de plus faible, précipite sous forme de très fins carbures de type cémentite ou epsilon (Fe2 ; 4 C) à l'intérieur même des aiguilles de ferrite bainitique. Ceux –ci plus petits sont allongés selon des directions faisant un angle de l'ordre de 60° C avec l'axe des lattes de ferrite [22.23] on parle alors de bainite inférieure. (Figure I.7)

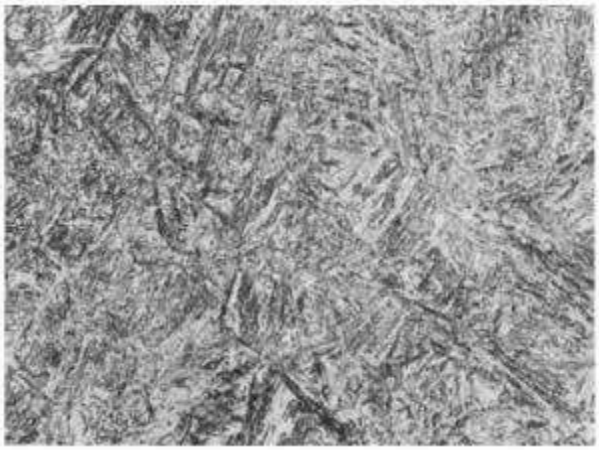


Fig. I-7 : Structure bainitique (bainite inférieure)

(Acier à 0,35 % C - 4,1 % Ni - 1,6 % Cr - 0,4 % Mo) Traitement : 850 °C (30 min) - refroidissement interrompu à 300 °C (16 h) Attaque Nital (3 %) Grossissement : 900

CHAPITRE II :

Matériaux et Mode expérimental

II.1 : Introduction :

La connaissance des propriétés mécaniques permet de mieux choisir les matériaux pour les diverses applications industrielles. L'amélioration de leurs propriétés caractéristiques dépend de leur composition chimique et par suite de leur état microstructural obtenu à partir des traitements thermiques.

II.2 : Matériaux et caractéristique :

II.2.1 : Composition chimique :

Tableau II.1 : Composition chimique de l'acier 42CD4 [16]

Eliment	C%	P%	S%	Cr%	Mo%	Si%
Min	0.38	-	-	0.9	0.15	-
Max	0.45	0.035	0.035	0.12	0.30	0.40

II.2.2 : Désignation :

Tableau II.2 : la Désignations normalisées de l'acier faiblement allié 42CD4[16]

UNI 7845	DIN 17200	ISO 683-1	AFNOR 35-552	AISI-SAE
42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4	42CD4	4140

Dans l'entreprise ils ont utilisé la norme DIN, la nuance utilisée pour la fabrication de croisillon différentiel est livrée sous forme d'une barre cylindrique 22 mm de diamètre et de 1.75 m de longueur à l'état trempé revenu à haute température. [16]

II.2.3 : Caractéristique mécanique :

Le tableau II.3 : donne les caractéristiques mécaniques à l'état trempé de l'acier étudié, comparées à celles d'un acier à haute résistance

Tableau II.3 : caractéristiques mécaniques des aciers faiblement alliés 42CD4[16]

Condition	Diamètre de barre Ø mm	Limite élast. R_e min. MPa	Rupture en traction R_m MPa	Allon-gement A_5 min. %	Striction Z min. %	Résilience KV min.		Dureté HBW
						J	T °C	
Laminé	25...180							...350[a]
Recuit	25...180							...241
Trempé et revenu	25...40	750	1000...1200	11	45	35	20	300...350[a]
	>40...100	650	900...1100	12	50	35	20	270...320[a]
	>100...160	550	800...950	13	50	35	20	240...280[a]
	>160...180	500	750...900	14	55	35	20	220...270[a]

A l'état trempé, les aciers présentent un niveau de résistance élevé, caractéristique de la présence de la structure martensitique. Dans le cas de l'acier 42CD4 et des autres

aciers de la même famille, les valeurs du tableau III.1 précisent le niveau de résistance atteint. Plusieurs mécanismes interviennent simultanément et contribuent séparément au durcissement de l'acier. Le plus important de ces mécanismes est l'effet du carbone et des autres éléments qui constituent la composition chimique de l'acier étudié.

II.3 : Mode expérimental :

II.3.1 : traitement thermique :

II.3.1.1. La trempe :

Une charge de15pièces enfournée dans un four de trempe à chambre pendant (30 min) (la montée de température) pour égaliser la température de cœur avec celle de surface jusqu'aux températures de 900°C, 850° et 800°C (températures d'austénitisation de la nuance 42CD4), a ces températures les pièces sont maintenues durant (30min) en suite elles sont trempées dans deux bain différentes (eau et huile) . [1]

II.3.1.2. Le revenu :

La charge donc enfournée dans un four de revenu à une température de 550C˚. (Figure II-1) Le revenu est donc pratiqué après l'opération de trempe (Ce traitement double est appelé amélioration) qui améliore, par rapport à l'état normalisé (Recuit), les limites de rupture et d'élasticité, la striction et surtout la résilience. Cela consiste à réchauffer de nouveau le métal (souvent 550C˚) après une trempe énergique pour augmenter son usinabilité en lui rendant de la ductilité.

Comme l'opération de trempe, le réchauffement de l'acier provoque une modification de sa structure (de la martensite à la sorbite). L'effet le plus remarquable du revenu est la diminution notable des contraintes internes existant dans la pièce suite à la trempe. On obtient ainsi des caractéristiques de résistance et de ductilité bien équilibrées [1].

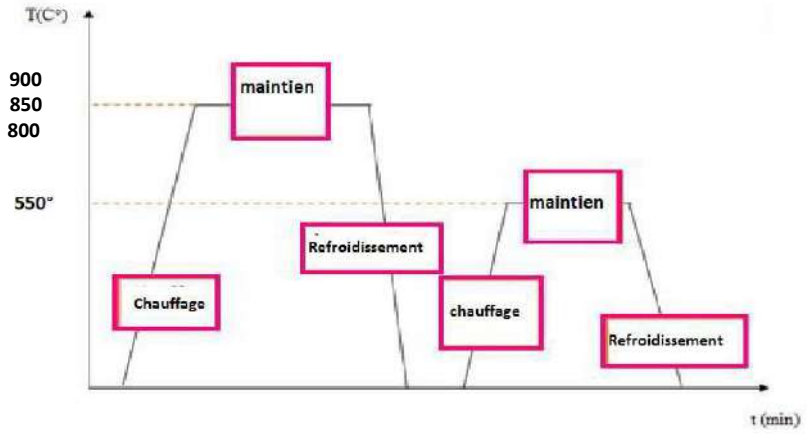


Fig. II-1 le cycle de traitement

II.3.2 : l'essai de traction :

II.3.2.1 : Objectif :

L'essai de traction est le moyen le plus couramment employé pour caractériser le comportement mécanique d'un matériau sous une sollicitation progressive à vitesse de chargement faible ou modérée. L'essai permet, en outre, l'étude et l'identification des mécanismes physiques de déformation plastique. Cette dernière, gouverne le processus majeur de mise en forme, par ou sans enlèvement de matière, des matériaux dans la plus part des procédés de fabrication utilisés dans l'industrie mécanique [2].

II.3.2.2 : Principe :

Des éprouvettes du matériau concerné, en forme de barreau cylindrique ou prismatique comportant une partie centrale calibrée à section constante S0 et longueur L0 raccordée à chaque extrémité à deux têtes de section plus importante, sont fixées dans une machine de traction. Sauf indications contraires, l'essai est effectué à la température ambiante dans les limites comprises entre 10°C et 35°C. Des essais de traction peuvent être effectués à des différentes températures allant de la température cryogénique à celle des hautes températures inférieures à la moitié de la température de fusion pour modéliser le comportement du matériau en fonction de la température.

II.3.2.3 : Eprouvette :

La forme et les dimensions des éprouvettes dépendent de la forme et des dimensions des produits métalliques dont on veut déterminer les caractéristiques mécaniques. L'éprouvette est généralement obtenue par usinage d'un prélèvement d'un produit ou d'une

ébauche moulée. Cependant, les produits de la section constante (profilés, barres, files, etc.), ainsi que les éprouvettes brutes de fonderie (par exemples : fontes, alliages non ferreux) peuvent être soumises à l'essai sans être usinées. Les éprouvettes usinées doivent comporter un congé de raccordement entre les têtes de fixation et la partie calibrée lorsque celles-ci sont de dimensions différentes. Les dimensions de ce congé peuvent être importantes et il est recommandé pour qu'elles soient définies dans la spécification du matériau. Les têtes de fixation peuvent être de toute forme adaptée aux dispositifs de fixation de la machine. Les éprouvettes non usinées (par exemple celles brutes fonderie) doivent comporter un congé de raccordement entre les têtes de fixation et la partie calibrée. Les dimensions de ce congé sont importantes et il est recommandé pour qu'elles soient définies dans La norme de produit.

On note :

S0 : section initiale en mm2
Su : section minimale après rupture
L0 : longueur initiale entre repères
Lu : Longueur ultime après rupture
LC : longueur de la partie calibrée

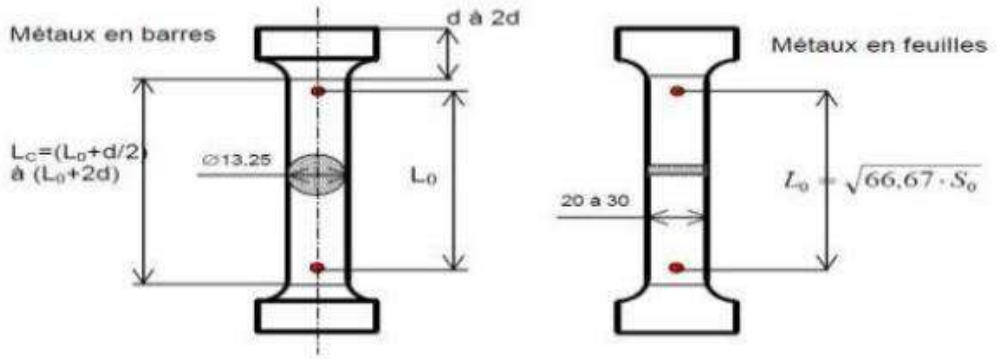


Fig. II-2: dessin technique de l'éprouvette de traction

Tous les paramètres qui sont déduits de l'essai de traction traduisent les propriétés de l'acier dans la direction de l'essai. Ces valeurs dépendent donc de la direction de prélèvement de l'éprouvette par rapport à d'éventuelles directions d'anisotropie (par exemple en carrosserie, la direction de laminage de la tôle mince). Pour les tôles laminées, la direction de prélèvement doit donc toujours être précisée :

•Sens long SL (repéré par l'indice 0°)

- Sens travers ST (repéré par l'indice 90°)
- Sens “oblique” (repéré par l’indice 45°).

II.3.2.4 Exécution de l’essai :

Une machine de traction est constituée d’un bâti rigide équipé d’un travers fixe à laquelle est fixée l’une des têtes de l’éprouvette ; l’autre extrémité de l’éprouvette est fixée à une traverse mobile. Le mouvement de la traverse mobile est assuré soit par une commande hydraulique, soit des vis sans fin. La charge imposée à l’éprouvette est mesurée par un dynamomètre, et l’allongement par un extensomètre. Ceci, permettra d’aboutir à des résultats d’enregistrement de la courbe brut de traction, F=F(Δ**l**), caractéristique de l’échantillon et de sa géométrie. [3]

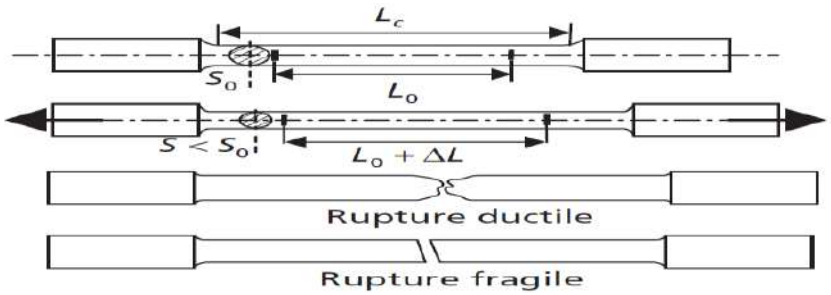


Fig. II-3. Schéma d’une éprouvette de traction cylindrique et de son évolution en cours d’essai.



Fig. II-4 Machine de traction. [3]

II.3.2.5 Diagramme de l'essai de traction Figure (II-5)

Les machines de traction donnent l'enregistrement graphique de l'allongement de l'éprouvette (A[%] ou[mm]) en fonction de la charge F[N] .

Selon la section de l'éprouvette, il est possible de déterminer la tension R(appelée également

charge unitaire ou contrainte), quotient de la charge F[N] par la section So[mm2]. [4]

1er période. Domaine élastique :

Selon la loi de Hooke, les allongements sont proportionnels aux charges unitaires ; si l'effort de traction devient 2 ou3 fois plus grand, l'allongement devient également 2.respectivement 3 fois plus grand. [4]

Domaine élastique :

La déformation subie sous l'effort de traction ne persiste pas après enlèvement de cet effort ; l'éprouvette repend sa longueur primitive, d'où persistance de la cohésion moléculaire. Mis le dérangement cristallin pour certains matériaux n'est pas instantané, il doit se produire à ce moment un certain trouble, d'où difficulté de définir exactement la limite d'écoulement. On considérer à sa place la charge unitaire pour laquelle l'allongement permanent est de 0.2% de Lo

2ème période. Domaine des déformations permanentes :

Domaine plastique ; l'éprouvette reste allongée après suppression de l'effort, autrement dit :

Sa déformation est permanente. C'est la période des grands allongements qui croissent plus vite que les charges, d'ou diminution de la section. La charge maximum F, en [N], est la plus grande charge supportée par l'éprouvette au cours de l'essai. [4]

3ème période. Striction et rupture :

Apparition du phénomène de striction ou diminution localisée de section, La striction est accompagnée d'une diminution de la charge agissant sur l'éprouvette, jusqu'à rupture de l'éprouvette. Un matériau cassant ne peut être déformé, un tel matériau se casse en pratique avant que ne se produise aucune striction. [4]

Exemple : acier trempé, fonte, etc.

Exemple : cuivre, grande allongement.

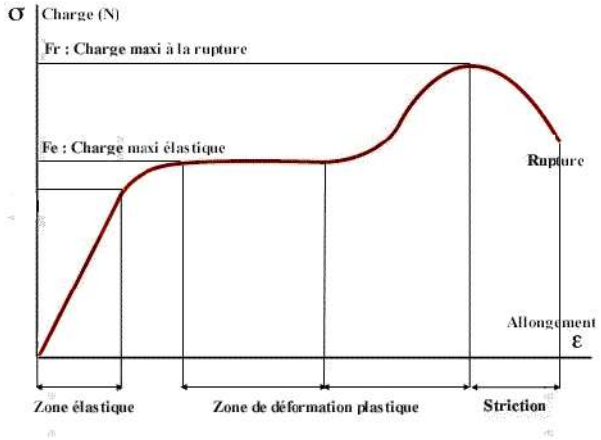


Fig. II-5 Diagramme de l'essai de traction.

L'allongement spécifique après rupture A :

Exprimé en pour –cent est l'allongement permanent de l'éprouvette rompue (Lu-L0) divisé par la longueur initiale entre repère L0.il est déterminé par **la formule** :

$$\mathbf{A\ [\%]=(Lu-L0/L0)*100}^{[4]}$$

Tensions :

La tension, ou charge unitaire, exprimée en **N/mm2** est le quotient de la charge par la section initiale **S0** de l'éprouvette et cela à chaque instant de l'essai. Remarquons que la charge ne signifie rien sans la surface de la matière **(S0).** La tension est une grandeur très représentative puisque l'on peut s'imaginer le nombre de **N** "attachés" à chaque millimètre carré de matière sollicité en traction. A Chaque charge correspond donc une tension dans le diagramme de la **figure II-5** la plus importante est la tension correspondant à la charge maximum F : elle est désignée par le terme de résistance à la traction **Rm [N/mm2] =Fm/S0**[4].

II.3.3 : Essai de dureté :

La dureté est la faculté de résistance qu'offre un corps à sa pénétration par un autre corps. Selon la forme et la nature du pénétrateur, on distingue :

- ♣ L'essai BRINELL
- ♣ L'essai ROCKWELL
- ♣ L'essai VICKERS

Les mesures de dureté ont été effectuées sur une machine KARL FRANK GMBH. WEINHEIM-BIRKENAU au niveau de la B.C.R (figure II-6). Il s'agit de la dureté Rockwell (HRC). C'est l'essai de dureté le plus connu mondialement. Dans ce cas, la dureté, contrairement à Brinell et Vickers, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur, bille acier ou cône diamant, tableau II.4. Une précharge (Fo) permet de faire une empreinte initiale et, par-là, d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de la surface.

On parle d'essai ROCKWELL lorsque le pénétrateur est :

- une bille de diamètre 1/16 de pouce en acier très dur, sur laquelle on applique une charge de 600 N. on note : HRf ;

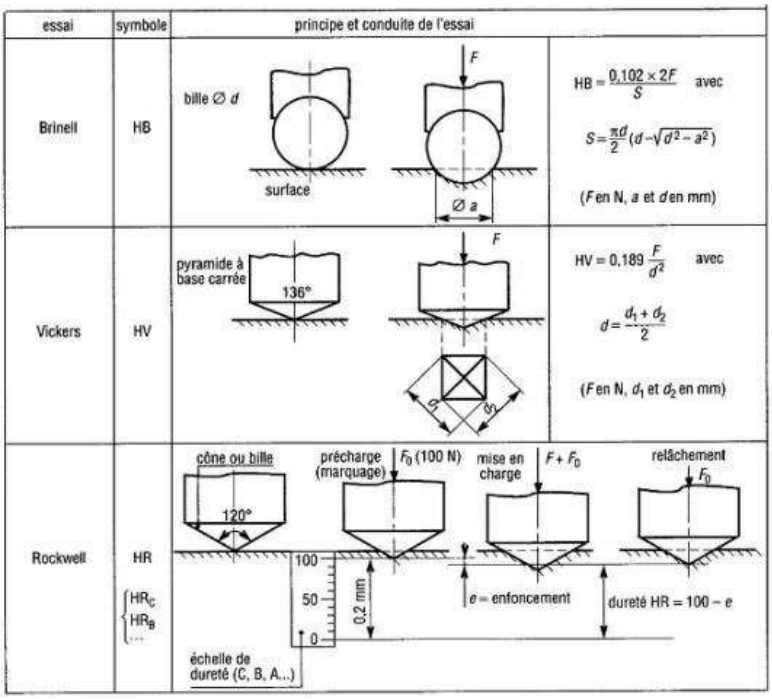
- une bille de diamètre 2/16 de pouce en acier très dur, sur laquelle on applique une charge de 1000 N. on note : HRb ;

- un cône en diamant d'angle égal à 120° et ayant une extrémité sphérique de rayon 0,2 mm, sur lequel on applique une charge de 1500 N. on notera : HRc.



Fig II-6: machine de l'essai de dureté Rockwell [4]

Tableau II-4 : principaux essais de dureté



II.3.3.1 : Principe et Objectif :

La dureté est la mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration. Cette dernière est fonction de plusieurs facteurs dont les principaux sont : la déformation élastique et plastique, le frottement pénétrateur-surface indentée, la géométrie de pénétrateur, ses propriétés mécaniques et la charge qui y est impliquée. Le tableau 2. Résume les caractéristiques des principales méthodes de mesure de la dureté utilisée : la dureté Brinell (HB), la dureté Vickers (HV), les duretés Rockwell C et B (HRC et HRB). Bien que les valeurs de dureté soient données sans dimensions, les duretés Brinell et Vickers, de par leur définition, sont homogènes à des contraintes. [5]

II.3.3.2 : Eprouvette :

La surface de l'éprouvette doit être propre, plane et lisse soigneusement préparée. Plus des dimensions du pénétrateur sont petites, plus l'état de la surface doit être lisse. Une application du polissage en mode automatique est parfois obligatoire. La préparation de l'éprouvette doit être faite sans provoquer des altérations des propriétés du matériau dues, par exemple, au chauffage ou à, l'écrouissage.

L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisante pour qu'aucune trace d'une déformation ne soit visible sur la surface opposée à celle de l'application de la charge.

D'après une règle générale, l'épaisseur minimale est au moins dix fois supérieure à la profondeur de l'empreinte. [5]

II.3.3.3 : Machine de dureté utilisé :

On emploi pour l'exécution de l'essai un dispositif qui est suffisamment rigide et stable.

L'essai doit être fait sans choc et sans vibrations, autrement les résultats sont erronés. L'éprouvette doit être installée sur un support rigide du dispositif pendant l'action de la charge.

Les essais les plus courants se font par pénétration, les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell. [5]

III. 3.3.3.1 Essai Rockwell :

Le pénétrateur est soit une bielle en acier trempé, soit un cône en diamant, et la charge d'essai peut prendre plusieurs valeurs. La dureté définie à partir de la différence de profondeur de pénétration après application de la charge. Le pénétrateur est appliqué sur la surface de la pièce avec une précharge F0=10kg.

Il descend alors à un niveau qui sert d'origine aux mesures de profondeur ultérieures.



Fig. II-7 MACHINE ESSAI Rockwell [6]

Mode Opératoire (Cas de l'essai Rockwell) :

- Préparer de la surface à tester
- Monter l'indenteur adéquat

- Régler la charge et les paramètres d'essai
- Monter l'éprouvette sur son support (de révolution ou plate)
- Appliquer la pré-charge de 10N (Indication lumineuse)
- Appliquer la charge de l'essai en appuyant sur la manette
-
- Lire la valeur de dureté correspondante
- Pour la précision de la mesure : effectuer au moins 3 reprises pour chaque essai.

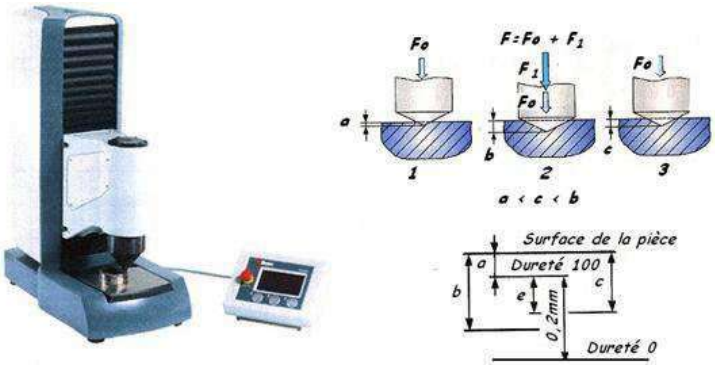


Fig. II-8. Schéma de principe d'un essai de dureté Rockwell : Cas d'un Rockwell C

Une surcharge F1=140kg est appliquée, pour atteindre la valeur de la charge totale F

- La surcharge est retirée, entraînant une remontée du pénétrateur (retour élastique)
- On mesure alors à l'aide d'un comparateur l'accroissement h de la profondeur de pénétration, entre le début et la fin de l'essai sous précharge $F_{0.}$

La dureté Rockwell, noter HRC dans la figure II-8, est un nombre sans dimension compris entre 0 et 100 (ou 130), défini comme le complément de h à une profondeur de référence de 0.2mm (respectivement 0.26mm) partagée en cent (respectivement 130) graduation identiques. [6]

II.3.4 : l'Etude métallographique :

II.3.4.1 : Etude micrographique :

L'examen métallographique pour but la mise en évidence de la microstructure de l'échantillon. L'analyse micrographique se fait sur des surfaces polies attaquées chimiquement. L'obtention de ces surfaces nécessite une suite d'opérations allant du prélèvement des échantillons à l'attaque chimique. Dans ce qui, nous donnons le détail de chaque opération.

A_ Découpage d'échantillon :

De chaque éprouvette nous avons prélevé une éprouvette.

b- Polissage :

Après le découpage, nous passons les éprouvettes sur une surfaceuse à disque abrasif (polisseuse). C'est une opération mécanique qui permet d'avoir des états de surface semblable à celui d'un miroir. Ce polissage s'effectue en plusieurs étapes avec des disques en papiers abrasifs de différentes granulométrie des grains abrasif en carbure de silicium (du plus gros au plus fin : 180, 400, 600, 800, 1000, 1200 et 4000) qui tournent avec une vitesse de 150 tr/mn, cette opération se fait sous aspersion d'eau pour éviter l'échauffement de l'échantillon. Le polissage fin est terminé de finition à la pâte diamantée répartie sur un feutre fin imbibé d'éthanol. Après chaque polissage les échantillons sont nettoyés à l'éthanol.



Fig. II-9 : appareil de polissage

c- Attaque chimique :

Les examens métallographiques nécessitent au préalable une attaque chimique appropriée à chaque nuance pour mettre en évidence les structures. Cette opération donne une différence de couleur entre les différentes phases, car elle est directement liée à la différence de vitesse de réaction des constituants. Le réactif chimique utilisé pour notre acier (acier faiblement allié) est le Nital 4 % (4 ml d'acide nitrique et 100 ml d'éthanol) une fois étalée sur la surface de l'échantillon, un temps de maintien de 2 à 5 seconds est respecté ; cette opération doit être suivie d'un rinçage à l'eau distillée.

II.3.4.2 : Etude micrographique (microscope optique) :

L'ensemble des observations métallographiques ont été réalisés au micro uromètre (Zwick HV 10 et Zwick-M et ZHV2-M) .Pour le micro uromètre Zwick HV 10 est équipé d'une caméra CCD, l'ensemble et relié à un ordinateur qui permet le traitement des images.

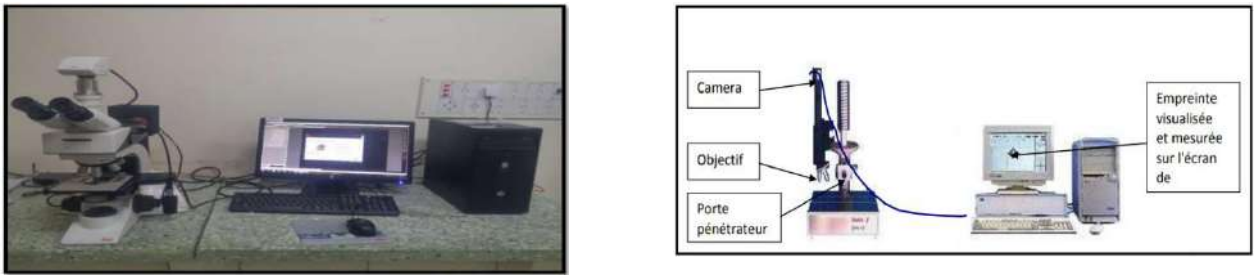


Fig. II- 10: Microscope Optique (Zwick HV 10 et Zwick-M et ZHV2-M)

II.3.4.3 Examen au microscope:

La métallographie microscopique a pour but de mettre en évidence les constituants de la microstructure. La microscopie est faite à l'aide d'un microscope optique utilisant une source lumineuse qui envoie la lumière sur l'échantillon à travers un dispositif optique. Les rayonnements réfléchis par l'échantillon sont repris par la lentille objective qui donne une première image intermédiaire qui grâce à un miroir semi-réfléchissant, elle est renvoyée vers l'oeil du manipulateur à travers une lentille oculaire. L'appareil permet également d'obtenir des photos sur un microordinateur à travers une caméra solidaire. [12]

CHAPITRE III :

Résultat expérimentale obtenue et discussion

III-1 Introduction :

L'expérience est complément essentiel à la théorie et représente l'argument de toutes les questions du comportement mécaniques des aciers avant et après traitement thermique.

Dans cette étape on a pu faire une série d'expérience (analyse chimique, traction, Dureté et Microscope optique). Les résultats sont enregistrés et commentés convenablement.

III-2 Résultats obtenus :

- 1er échantillon représenté acier 42CrMo4 avant le traitement thermique ou l'acier à l'état recuit
- Les échantillons (2.3) représentés acier 42CrMo4 pendant à température d'austenisation (900 °C) du temps de maintien (60 min) et trempe dans l'eau et la trempe dans l'huile.
- Les échantillons (4.5) représenté acier 42CrMo4 pendant à température d'austenisation (850 °C) du temps de maintien (45min) et trempe dans l'eau et l'huile.
- Les échantillons (6.7) représenté acier 42CrMo4 pendant à température d'austenisation (900 °C, 800 °C) trempe étagé du temps de maintien (30 min, 30 min) et trempe dans l'eau et l'huile.
- après chaque résultat de trempe on a appliqué le revenu 550 °C pendant 30 min (voir page 31)

III-2.1 : Résultat obtenue avant traitement :

III .2.1.1 : Résultats obtenus par essai de traction :

Tableau III.1

$Ø_0$ (mm)	S_0 (mm²)	l_0 (mm)	Fe (Kg.F)	Re (N/mm²)	Fm (Kg.F)
5	78.5	50	42	524.3	52

	Re N/m^2	**Rm N/m^2**	**A**(%)	$Ø_S$ (%)	HRC
	649.8	**974.7**	**16**	**30**	**23**

III .2.1.2 : Résultats obtenus par dureté (HRC) :

HR 5/750/20 : 229

5 : Ø de la bille

750 : la charge

20 : maintien 20 s

- HRC : 23

III .2.1.3 : Résultats obtenus par microscope optique :

Selon le diagramme d'équilibre pour lire le diagramme d'équilibre il faut utiliser Fe Carbonne Equivalent Ceq= C + Mn 6 + Cr+Mo +V 5 + Cr+Ni 15

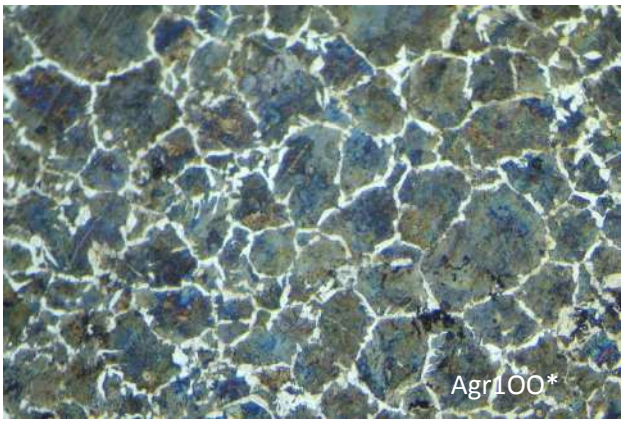


Fig. III-1 : Résultats microscopique avant traitement 42CD4**.**

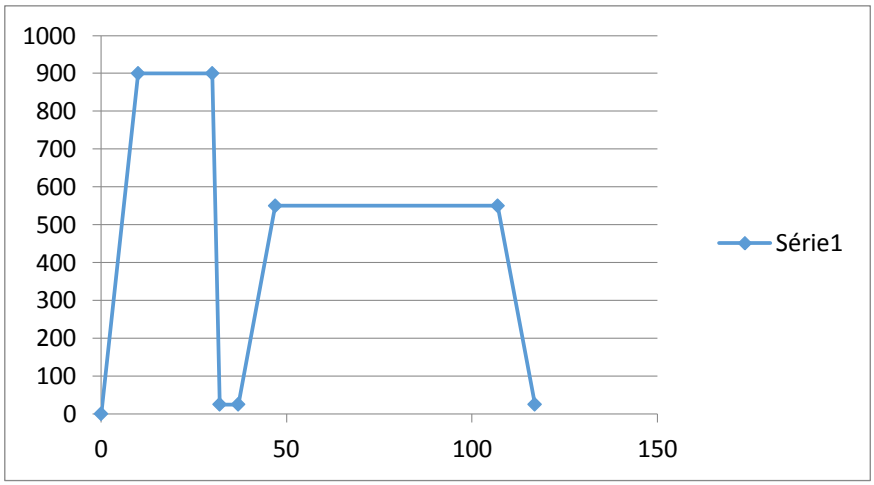
Par la règle des réjuent inverse. nous donner % ferrite et le % perlite en terme de consultation et le % ferrite (Fe.Cr)3c en terme de phase. La microstructure est constituée d'une phase de cémentite modifiée dans une matrice de ferrite (Fe. Cr)3c+α

Par la règle des réjuent inverse. nous donner % ferrite et le % perlite en terme de consultation et le % ferrite (Fe.Cr)3c en terme de phase. La microstructure est constituée d'une phase de cémentite modifiée dans une matrice de ferrite (Fe. Cr) 3c+α

III .2.2 : Traitement thermique de trempe et revenu (température d'austénisation 900 ˚C) :

III .2.2.1 : résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'eau :

Re N/m^2	Rm N/m^2	A%	Ø$_S$ (%)	HRC
424 .8	1087.2	6	20	31



à l'état le matériau : est à l'état (Fe.Cr)3c+α après austénitisation :100% austénite après trempe : martensite + austénite résiduelle.

III.2.2.2.1 Résultats Métallographiques de trempe dans l'eau :

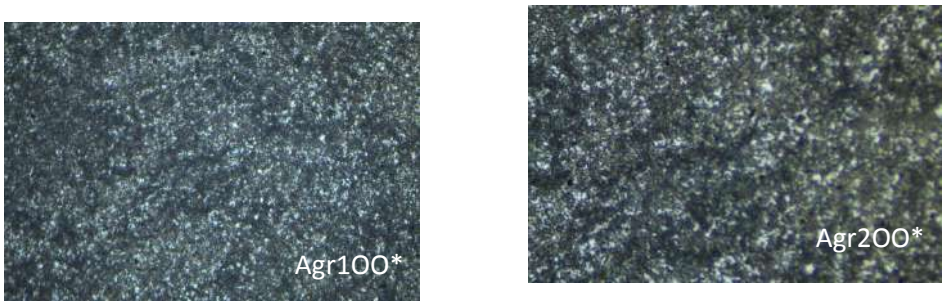
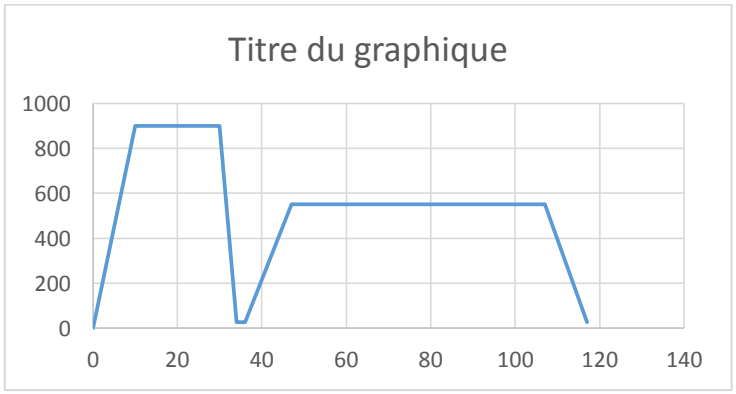


Fig. III-2 Résultat microscopique après traitement de trempe dans l'eau après austénisation de 900 °C de 42CD4.

III .2.2.2 : Résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'huile :

	Re N/m^2	**Rm** N/m^2	A%	$Ø_S$ (%)	La dureté
HUILE	**562.3**	**899.7**	**14**	**30**	**30 HRC**



III.2.2.2.1 Résultats Métallographiques de trempe dans l'huile :

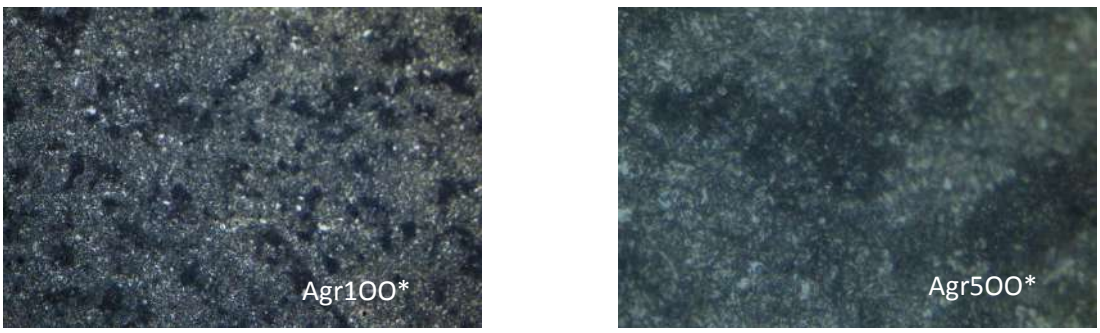
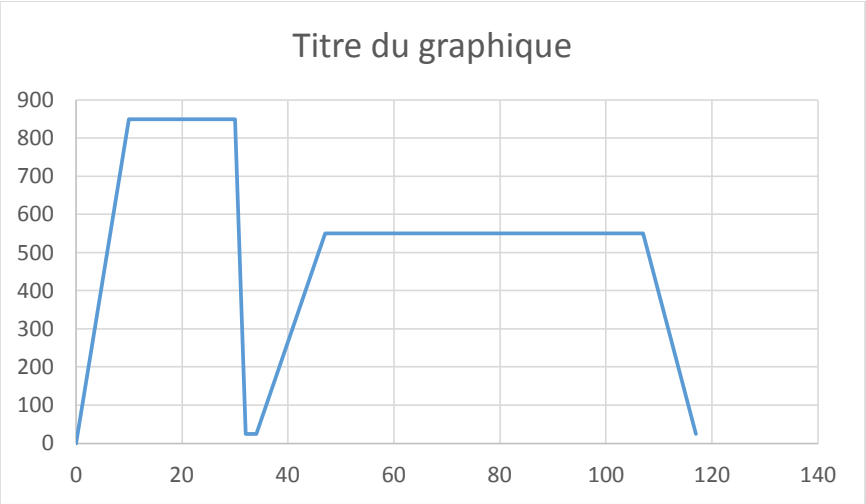


Fig. III-3 Résultat microscopique après traitement de trempe dans l'Huile après austénisation de 900 °C de 42CD4.

III .2.3 : Résultats Obtenu après traitement thermique de trempe de température d'austénisation de 850 ˚C avec un temps de maintien de 30 min :

III .2.3.1 : Résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'eau :

	Re N/m^2	Rm N/m^2	A%	$Ø_S$ (%)	La dureté
A l'eau	887.2	1137.2	6	15	35 HRC



T˚ :d'austénitisation ↑ dissolution αu c, et αu

Cr ↑ → Ms↓ → le taux d'austénite résiduelle ↑ → HRc ↓ par apport à 850˚C

Avec une martensite plus dure que la martensite obtenue à 850˚

Résultats expérimentaux d'essai de dureté :

- HRc : 35

III.2.3.2 Résultats microscopique obtenues du Trempe dans l'eau

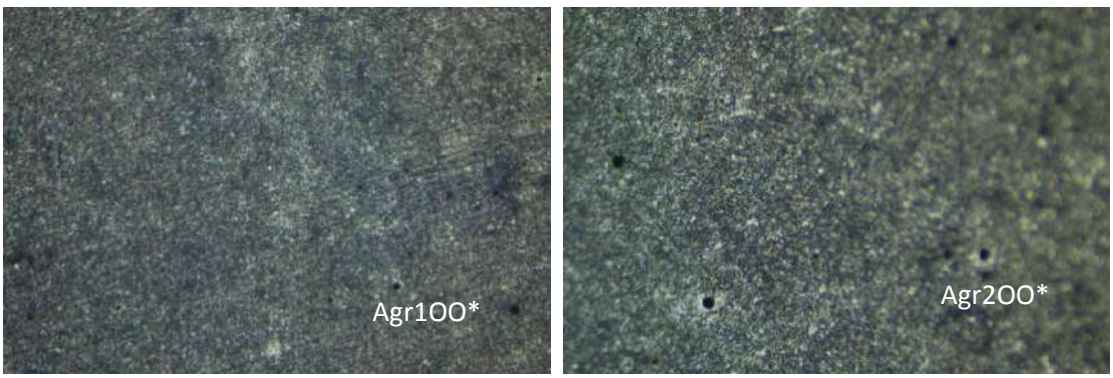
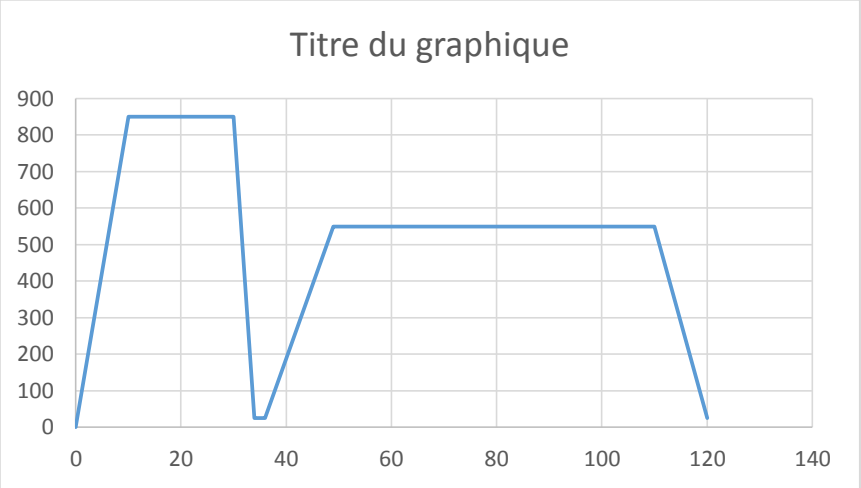


Fig. III.4. : Résultats microscopique après traitements de trempe dans l'eau T˚= 850˚C Temps de maintien de 30 min.

III .2.3.3 : Résultats des propriétés mécaniques obtenues du Trempe dans l'huile :

	Re N/m^2	Rm N/m^2	A%	$Ø_S$ (%)	La dureté
A l'huile	762.3	1249.6	10	20	32 HRC



III.2.3.4 Résultats Métallographiques de trempe dans l'huile :

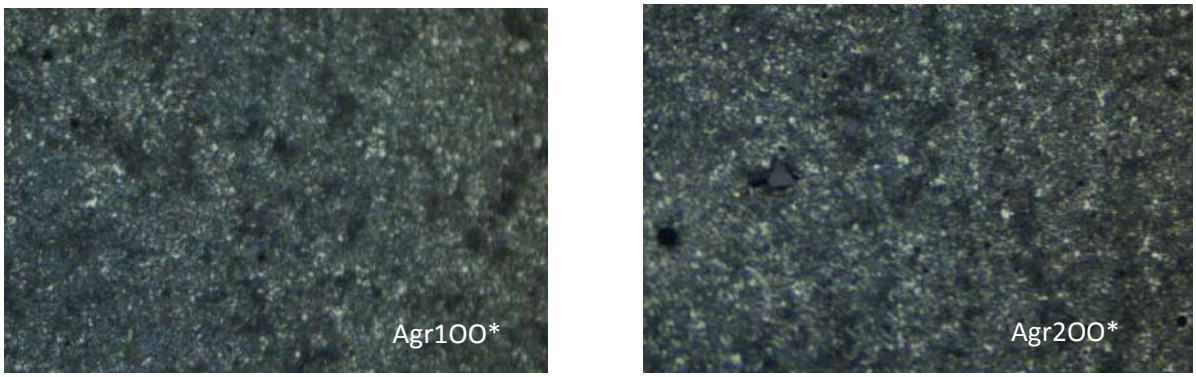
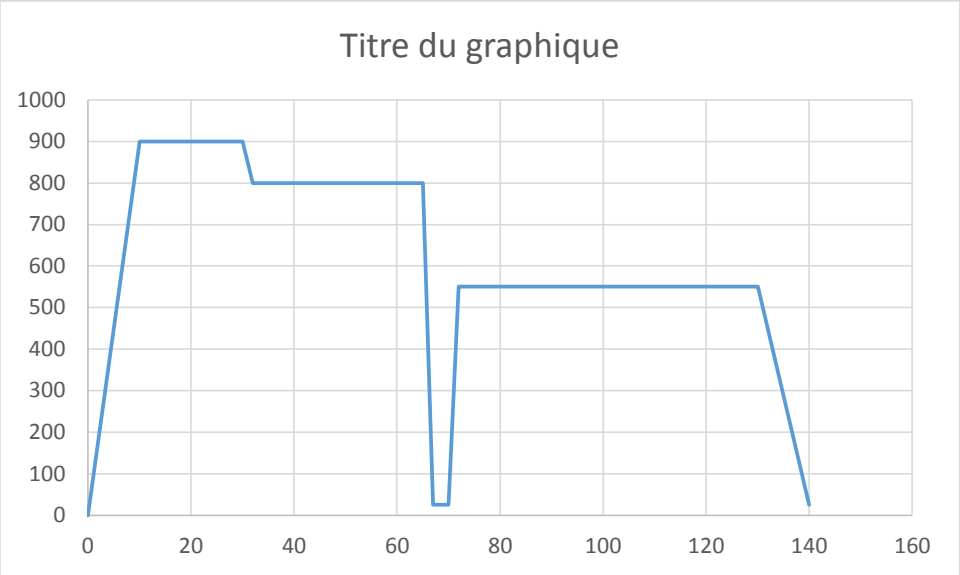


Fig. III.5 Résultats microscopique après traitements de trempe dans l'huile T°= 850°C Temps de maintien de 30 min.

III .2.4 : Résultats Obtenu après traitement de trempe étagé (900 ˚C, 800 ˚C) revenu 60 min :

III .2.4.1 : Résultats des propriétés mécaniques obtenues de trempe étagée dans l'eau :

	Re N/m^2	Rm N/m^2	A%	$Ø_S$ (%)	La dureté
L'eau	787.29	999.74	18	30	30 HRC



III.2.4.2 Résultats Métallographiques obtenues de trempe étagée dans l'eau :

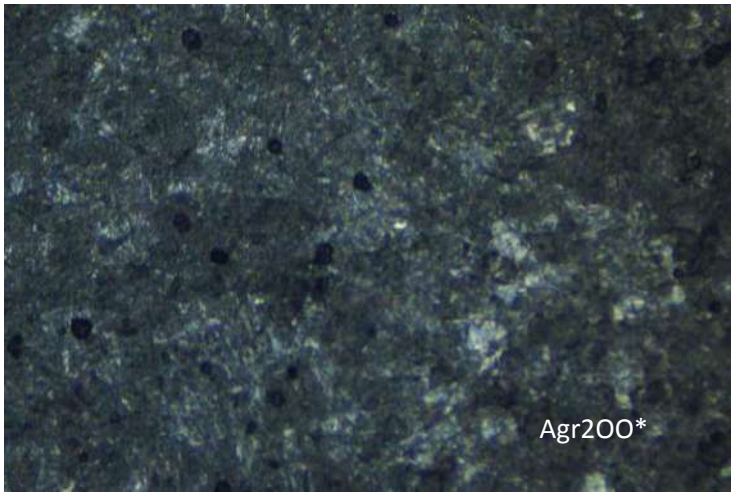
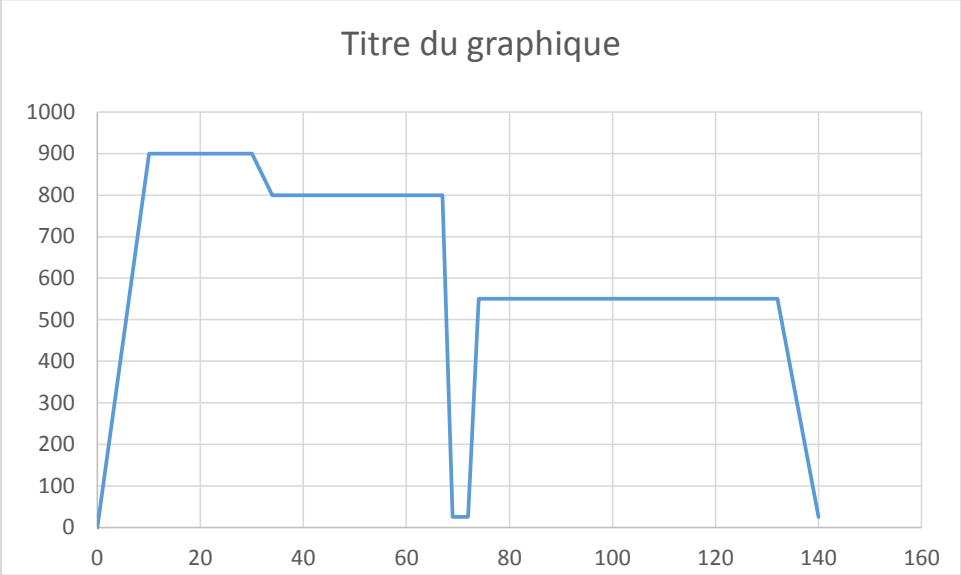


Fig. III.6 : résultats microscopique après traitements de trempe étagée dans l'eau, de 900°C à 800˚C Temps de maintien de 30 min

III .2.4.3 : Résultats des propriétés mécaniques après un traitement de trempe étagé dans l'huile :

	Re N/m^2	Rm N/m^2	A%	$Ø_S$ (%)	La dureté
huile	524.86	774.8	20	30	27 HRC



III.2.4.4 Résultats Métallographiques obtenues après une trempe étagée dans l'huile :

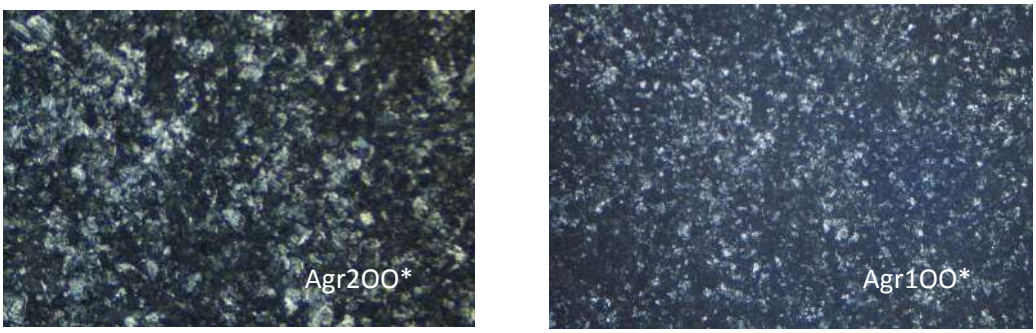


Fig III.7 : Résultats microscopique après traitements de trempe étagée de 900°C à 800°C Temps de maintien de 30 min

III.3 : Discussion des résultats :

III 3-1 Discussion des résultats obtenus après traitement de trempe et revenus

III.3.1.1 Résultats des propriétés mécaniques :

a/ Essais de traction :

Cette technique nous a permis de déterminer la variation de la résistance mécanique et le taux d'allongement en fonction de la température d'austénitisation et en fonction du milieu de trempe ainsi que le type trempe.

Après un traitement thermique de trempe et revenu de l'acier 42CD4 dans lors d'une austénisation jusqu'à 900°C durant un temps de maintien de 30 minutes la résistance mécanique augmente en fonction de la vitesse de refroidissement, tandis que l'allongement diminue à une valeur minimal.

Pour l'austénisation à la température T = 850°C :

La résistance mécanique augmente en fonction de la vitesse de trempe.

On observe dans la trempe à l'huile que la valeur de la résistance mécanique est maximale Rm =1249.6 N/mm^2, et dans la trempe à l'eau elle a une valeur de Rm = 1137.2 N/mm^2.

D'autre part l'allongement diminue en fonction de la vitesse de trempe pour avoir une valeur minimale de 6 % pour la trempe à l'eau.

Pour la trempe étagée (de 900°C à 800°c) on observe une augmentation légère de la résistance mécanique par une trempe à l'eau, tandis qu'une diminution remarquable lors d'une trempe à l'huile.

Par contre une augmentation remarquable pour l'allongement dans ce type de trempe étagée pour atteindre une valeur maximale de 20 % après une trempe à l'huile, et 18 % pour une trempe l'eau.

B/ dureté :

Pour la température T=900°C :

On dans la trempe à l'huile et l'eau une augmentation de la dureté.

On observe dans la trempe à l'huile et dans l'eau que la valeur de la dureté est proche de RC= 30.

Pour la température T=850°C :

On a dans la trempe l'huile une diminution de la dureté, par rapport au cas de l'eau une augmentation de la dureté parce que on a formation de la martensite.

On observe dans la trempe à l'eau que la valeur de la dureté est maximale HRC = 35.

Pour la trempe étagée de 900°c à 800°C :

La dureté augmente en fonction de la vitesse de trempe.

On observe dans la trempe à l'huile que la valeur de la dureté est minimale HRC = 27, et dans la trempe à l'eau elle est de valeur médiocre de HRC = 30.

C/ Métallographie :

La figure III-1 représente l'examen métallographique de l'acier 42CD4 avant traitement de trempe.

Pour ce cas L'observation de la structure à l'état brut montre qu'elle est de type ferrito-perlitique (figure III-1).

Résultats obtenus à 900°C :

Pour la trempe à l'eau, la vitesse de refroidissement est rapide donc l'austénite se transforme a une structure de martensite en lattes (figure III-2)

Pour la trempe à l'huile la vitesse de refroidissement est moyenne on a une structure martensito-bainitique avec proportion de bainite plus importante (figure III-3).

Résultats obtenus à T=850°C :

La figure III-4 et la figure III-5 représentent l'examen métallographique de l'acier 42CD4 pour différents milieux de trempe après austénitisation à 850°C.

Pour la trempe à l'eau, la vitesse de refroidissement est rapide donc l'austénite se transforme en une structure de martensite en lattes (figure III-4)

Pour la trempe à l'huile la vitesse de refroidissement est moyenne on a une structure martensitobainitique avec une proportion de bainite plus ou moins importante (figure III-5).

Résultats obtenus de trempe étagée (de 900°C à 800°C) :

La figure III-6 et la figure III-7 représentent l'examen métallographique de l'acier 42CD4 pour différents milieux de trempe après une trempe étagée d'austénitisation de 900°C à 800°C.

Pour la trempe à l'eau, la vitesse de refroidissement est rapide donc présence d'une structure martensite en lattes (figure III-6)

Pour la trempe à l'huile la vitesse de refroidissement est moyenne on observe la structure martensito-bainitique avec une disparition homogène de l'austénite résiduel dans la structure martensitique (figure III-7).

Dans la trempe à l'eau, la martensite est la plus dure dans le cas T = 850°C, pour la même température, une valeur de la dureté maximale par rapport à tous les cas.

Pour la trempe à huile, la bainite dure est obtenu pour la température T = 850°C.

On peut dire quand d'austénitisation change, l'effet du milieu de trempe sur la dureté change, donc l'effet de milieu de trempe a une relation avec la température d'austénitisation.

CONCLUSION

Conclusion Générale :

L'étude a été réalisée sur la nuance 42CD4 acier faiblement allié au chrome et Molybdène. Il est très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : croisillons, arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, pignons dans la fabrication des outils mécaniques.

Notre étude s'est portée sur l'influence de la trempe sur les propriétés mécaniques et structurales de l'acier.

A travers ce travail, on a pu mettre en évidence l'effet de la température d'austénitisation, le milieu de trempe sur le comportement structurale et mécanique et le type de traitement.

Pour réaliser ce travail nous avons utilisé plusieurs techniques conventionnelles à savoir l'essai de traction , l'essai de dureté Rockwell HRC et la microscopie optique.

Au terme de cette étude nous sommes en mesure de dégager quelques points essentiels :

- L'acier à l'état brut à une structure ferrito perlitique.
- La proportion des constituants formés varie selon le milieu de trempe et la température d'austénitisation.
- La trempe à l'air dépend des structures ferritique et perlitique.
- Pour la trempe à l'eau l'austénite se transforme en martensite en lattes.
- La trempe à l'huile donne une structure martensito-bainitique.
- L'augmentation de la température d'austénitisation conduit à une trempabilité un peu améliorée.
- Après les traitements thermiques de trempe étagée la dureté doit avoir des valeurs Minimums ;
- Traitement de trempe étagée de 900°C à 800°C conduit à des résultats d'allongement très améliorés 18% (trempe à l'eau) et 20% (trempe à l'huile) ;
- Le traitement d'austénitisation à 850 °C pendant 0.5 h donne naissance à une martensite la plus dure.

Références bibliographiques :

[1] les aciers dans la construction Achevé d'imprimer en octobre 2006 par l'imprimerie CUSIN-38300 Meyrie

[2] les aciers dans la construction Achevé d'imprimer en octobre 2006 par l'imprimerie CUSIN-38300 Meyrie

[3] www.technologuepro.com/cours.../chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone.pdf

[4] www.technologuepro.com/cours.../chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone.pdf

[5]www.philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/metallurgie/trait_thermic/influence_des_elements_d.htm

[6] Cours Elaboration des métaux ferreux (fontes et aciers), Pr. Bensaada Said Professeur Chef d'équipe de recherche, Laboratoire LARRHYS, Faculté des sciences et de la technologie, Univ. De Biskra.

[7]www.philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/metallurgie/trait_thermic/influence_des_elements_d.htm

[8] Fatima Zohra Lemmadi, thèse de magistère, Rapporteur Mr. A. Chala, Univ. De Biskra

[9] M. Massin, Métallurgie Pratique pour Mécaniciens, tome 1, Pyc édition 1982

[10] guide_hors_production_operateur_traitement_thermique Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015.

[11] R.F. MEHL et C.WELLS, Constitution of High Purity Iron-Carbon Alloys, Technical Publication n° 798, A.I.M.E. Iron and Steel Division, 125 (1937); Metals Technology, join 1937.

[12] C.Bouchy et F.Gobin « Métallurgie »,1-Métallurgie structurale, Armond Collin(1971)

[13] M.Aouragh thèse de magister à université d'Annaba (2007)

[14] A.Kumar Sinha, Butter worth publishers, Ferrous Physical Metallurgy Ch 6 Martensite, (1989)

[15] I.Lakhtine (métallugraphie et traitements thermiques des métaux) Edition Mir,Moscou 1982.

[16] Guy Murry, Transformations dans les aciers, Normalisation (AFNOR), Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques M 1 115, Centre français d'exploitation 2002.

[17] https://fr.wikipedia.org/wiki/Acier

[18] Essai de résilience , www.rod acier.com

[19] Lycée Édouard Branly de Créteil – cours de technologie http://www.ac-creteil.fr/lycees/94/ebranlycreteil/cours/techno/index.htm

[20] Mémoire de MAGISTER en Génie Mécanique Caractérisation structurale et mécanique du joint soudé de la liaison bimétallique Acier Ordinaire E36/ Acier anti-usure NAXTRA70 utilisé par l'Unité Grue de Bejaïa dans l'assemblage de la pelle chargeuse et godet d'excavation Présenté par Hanifa MAROUF